



UNIVERSIDADE DO MINHO
DEPARTAMENTO de ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR

CURSO DE LICENCIATURA Em ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ano letivo 2018/2019 – 4º Ano

Tema: Reator de produção de biodiesel utilizando o processo de transesterificação de óleos alimentares usados (DAU´s)

Autor: Alene Santos Nº4015

Orientador: Mestre Susana Castro

Alene Dulce Melo Dos Santos

**Reator de produção de biodiesel utilizando o processo de transesterificação de
óleos alimentares usados (OAU's).**

Aluna:

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade do Mindelo
como parte integrante dos requisitos para
obtenção do grau de Licenciatura em
Engenharia em Energias Renováveis.

Orientador: Mestre Susana Castro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho único e exclusivamente a minha mãe, que apesar de não estar presente nesses 4 anos de licenciatura por motivos de força maior, foi quem me deu forças para lutar contra todos os obstáculos até chegar ao fim e atingir o meu objetivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter-me concebido estes anos de vida com saúde, garra e determinação.

Agradeço também aos meus pais que me colocaram nesse mundo e fizeram tudo o que foi possível para meu bem-estar e na minha educação.

Quero agradecer também aos meus irmãos que sempre me apoiaram nas minhas escolhas principalmente a primogénita Ana Melo que fez de tudo para me ajudar com as outras despesas nesses anos.

Ao meu primo Bruno Gomes que também contribui e muito nesses 4 anos.

Agradeço também à minha orientadora mestre Susana Castro pela disponibilidade para tal.

Aos meus professores pela transmissão de conhecimentos ao longo do curso, amigos e colegas.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiv
I. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivo Geral.....	17
1.3 Objetivos Específicos	17
1.4 Metodologia de investigação	18
1.5 Estrutura do trabalho.....	18
II. ESTADO DE ARTE.....	20
2.1 Biocombustíveis	20
2.2 Biodiesel	21
2.2.1 Classificação dos tipos de Biodiesel.....	23
2.2.2 História do Biodiesel	23
2.2.3 Propriedades Físicas e Químicas do Biodiesel	25
2.3 Matéria-prima para produção de biodiesel	27
2.3.1 Óleos vegetais.....	28
2.3.2 Gorduras animais	29
2.3.3 Óleos e gorduras residuais	29
2.3.4 Microalgas	30
2.4 Tecnologias de produção de biodiesel.....	32
2.4.1 Microemulsões	32
2.4.2 Craqueamento térmico ou pirólise.....	33

2.4.3 Transesterificação	33
2.5 Álcoois utilizados nas reações químicas de produção de biodiesel.....	37
2.6 Catalisadores.....	38
2.6.1 Catalisadores homogêneos ácidos	38
2.6.2 Catalisadores homogêneos alcalinos ou básicos	39
2.6.3 Catalisadores enzimáticos.....	40
2.7 Reatores para produção de biodiesel	40
2.7.1 Reator descontinuo ou em lote	41
2.7.2 Reatores de fluxo contínuo	41
III. CASO DE ESTUDO	43
3.1 Caracterização da área em estudo (São vicente)	43
3.2 Disponibilidade da matéria prima.....	44
3.3.1 Etapas de produção do biodiesel	47
3.4 Escolha do agitador	48
3.5 Projeção do reator	49
3.5.1 Cálculos efetuados para o dimensionamento do reator	52
3.5.2 Cálculo de potência do motor do misturador.....	54
3.5.3 Consumo energético do reator	55
3.5.4 Materiais	58
3.6 Plano de investimento.....	58
3.6.1 Custos de Produção	59
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1 Análise do inquérito sobre os óleos alimentares usados nos restaurantes	60
4.2 Análise dos resultados do dimensionamento do reator e do desenho técnico	66
4.3 Análise da viabilidade económica do projeto.....	67

V.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
VI.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
VII.	ANEXOS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema dos três tipos de glicerina em que R1, R2, e R3 representam grupos alquilo constituídos por átomos de carbono e de hidrogénio.	28
Figura 2: Esquema do processo de transesterificação de produção de biodiesel	34
Figura 3: Reação de transesterificação	35
Figura 4: Ilha de São Vicente	43
Figura 5: Etapas de produção de biodiesel	44
Figura 6: Esboço do reator.....	53
Figura 7: Painéis fotovoltaicos	56
Figura 8: Gráfico do destino final dado aos OAU's.....	60
Figura 9: Gráfico de reutilização dos OAU's como combustível	61
Figura 10: Gráfico de reutilização dos OAU's em outras refeições.....	61
Figura 11: Gráfico do tipo de óleo utilizado nos estabelecimentos.....	62
Figura 12: Gráfico da disponibilidade em entregar o OAU a entidade	62
Figura 13: Gráfico da quantidade de óleo que utilizam por mês.....	63
Figura 14: Gráfico do tamanho do recipiente de armazenagem do OAU no estabelecimento	63
Figura 15: Gráfico da periodicidade de recolha do OAU.....	64
Figura 16: Desenho técnico do reator.....	67
Figura 17: Fatura do custo do kit fotovoltaico	76
Figura 18: Fatura do custo do kit fotovoltaico	77
Figura 19: Reator	79
Figura 20: Tanque de reator.....	80
Figura 21: Suporte do motor.....	81

Figura 22: Eixo e hélice.....	82
Figura 23: Cubo de enrolamento	83

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre as propriedades do diesel e do biodiesel.....	22
Tabela 2: Composição do óleo de soja	27
Tabela 3: Condições típicas do processo de transesterificação com homogêneos básicos ..	36
Tabela 4: Tipos de agitadores e suas características.....	49
Tabela 5: Tempo de produção de biodiesel	50
Tabela 6: Materiais utilizados.....	58
Tabela 7: Investimento do projeto	59
Tabela 8: Custos mensais de produção (período de 8 horas/25 dias do mês)	59
Tabela 9: Análise swot da cadeia de produção de biodiesel através de óleos alimentares usados recolhidos na ilha de são vicente	65
Tabela 10: Resultados do dimensionamento do reator.....	66

RESUMO

As fontes renováveis na geração de energia vêm sendo cada vez mais utilizadas principalmente a partir da crise mundial do petróleo ocorrida entre 1973 a 1979 onde o mercado mundial voltou a sua atenção para a produção de combustíveis geradores de energia que fossem menos nocivos para população, para o meio ambiente e com um custo de produção menor.

O biodiesel é um componente essencial para atender à crescente procura energética e garantir a sustentabilidade socioambiental e económica de Cabo Verde e diminuir o uso dos combustíveis fósseis.

O uso do biodiesel como combustível tem aumentado mundialmente e o seu mercado expande-se rapidamente devido à sua elevada contribuição ao meio ambiente, com a redução dos níveis de poluição ambiental. Como uma fonte alternativa de combustível, o biodiesel pode ser usado na sua forma pura ou misturado com diesel derivado do petróleo.

O presente trabalho terá como objetivo dimensionar um reator para a produção de biodiesel a partir de óleos alimentares usados. A finalidade será demonstrar possíveis alternativas e soluções para a dependência que o país tem dos combustíveis fósseis importados e também promover a reutilização de óleos que caso contrário seriam descartados para o meio ambiente, provocando a sua degradação. Pretende-se também demonstrar as propriedades do biodiesel e as diferentes tecnologias de produção, mais propriamente a transesterificação.

Palavras-chaves: Biocombustíveis, biodiesel, transesterificação, óleos usados, segurança energética.

ABSTRACT

Renewable sources used to generate electrical power have been used more frequently especially after the world oil crisis that took place between 1973 and 1979, when the world market turned its attention to the production of fuels that could generate electricity in less harmful ways for the populations, the environment and at a lesser production cost.

Biodiesel is an essential component to serve the growing energetic demand and to guaranty socio-environmental and economic sustainability in Cape Verde as well as to diminish the use of fossil fuels.

The use of biodiesel has increase worldwide and its market has been expanding rapidly due to its high contribution to the environment with the reduction of the present levels of pollution. As an alternative source of energy, biodiesel can be used in its pure form or mixed with oil derived diesel.

This study aims at dimensioning a reactor to produce biodiesel from used cooking oils and also attempts to show possible alternatives and solutions to the dependence on imported fossil fuels, as well as to promote the re-use of oils that would otherwise be discarded as harmful to the environment, producing, thus, its degradation. The study also aims at displaying biodiesel properties and the different technologies used to produce it, more specifically its transesterification.

Key words: Biofuels, biodiesel, transesterification, used oils, energetic security.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C - graus Celcius

\$ - Cifrão

% - Percentual

%(m/m) - percentagem em relação a massa

CE - Comunidade Europeia

cp - calor específico

CO₂ - Dióxido de carbono

CSTR - Reator de tanque agitado contínuo

dm³ - decímetro cubico

ECV - Escudo Cabo-verdiano

Eq- Equação

g - Grama

g/cm³ - grama por centímetro cubico

g/mol - Grama por mol

g/m - Grama por metro

H - Horas

HSP- Horas de sol pleno

H₂ - Hidrogénio

H₂O - água

Kg - Quilogramas

Kg/L- Quilogramas por litro

Km² - Quilometro quadrado

KJ - Quilo Joule

KJ/ Kg°C - Quilo Joule por Quilograma graus Celcius

KW - Quilo Watt

KWh - Quilo Watt Hora

KOH - Hidróxido de potássio

L- Litro

L/mês -Litro por mês

m- Massa

Mr- Massa relativa

mm² - Milímetro quadrado

min- Minuto

m.pa.s- metro pascal por segundo

n- Número de mol

NaOH - Hidróxido de sódio

Nox - Óxidos de azoto

OAU- Óleos alimentares usado

pH- potencial hidrogeniónico

rpm- rotações por minuto

rps- rotações por segundo

SNG- Sinthetic natural gas

SOx -Enxofre

I. INTRODUÇÃO

A crescente dependência humana de energia aliada à escassez dos combustíveis fósseis, bem como o agravamento dos problemas ambientais causados pela emissão de gases tóxicos na natureza tem como consequência o aumento da procura por fontes renováveis de energia. Diante desse contexto, surge a necessidade de procurar inovações tecnológicas (Fernandes *et al.*, 2008).

A utilização de fontes energéticas renováveis vem sendo uma alternativa utilizada como combustível não poluente. Ao nível internacional já há iniciativas que apoiam e estimulam a produção de fontes renováveis, como a Comunidade Europeia, os Estados Unidos entre outros. Um dos principais biocombustíveis a ser desenvolvido globalmente é o biodiesel (Maciel e Medeiros, 2016).

Sendo Cabo Verde um país com recursos naturais limitados e com um mercado interno com dimensão reduzida, cada vez se sente mais a necessidade de procurar fontes alternativas de energia que possam contribuir para a independência energética do país, e para isso temos de apostar na inovação e na criação de valor com base nos seus fatores competitivos estratégicos. A aposta nas energias renováveis é considerada estruturante para o país (Direção Geral de Energia, 2015).

O biodiesel apresenta uma série de vantagens quando comparado com o combustível tradicional feito de petróleo, como por exemplo, diminuição dos gases com efeito de estufa e demais poluentes, custo de produção muito mais baixo do que o do diesel convencional, diminuição do lixo, melhora na lubrificação do motor, menor investimento financeiro em pesquisas, entre outras, (Carvalho; Ribeiro, 2012, cit. in Maciel e Medeiros, 2016).

Por conseguinte, o tema deste trabalho de fim de curso centra-se sobre o biodiesel, na sua produção através de óleos alimentares usados, como ferramenta que poderá auxiliar Cabo Verde na sua meta de 100% renovável.

1.1 Justificativa

O uso de combustíveis fósseis tem aumentando consideravelmente nas últimas décadas. Essas fontes são limitadas e esgotáveis, portanto, a busca por fontes alternativas de energia é de suma importância.

Baseando no facto de que Cabo Verde é um país totalmente dependente da importação de combustíveis fósseis devido a sua inexistência, temos enfrentado vários problemas socioeconómicos relativamente a essa dependência. Como alternativas para combater o consumo de combustíveis fósseis, o uso de combustíveis derivados da biomassa tem sido apontado como uma técnica capaz de minimizar estes problemas.

Ao longo dessa caminhada de licenciatura tive muito conhecimento, a cerca do uso de biodiesel como combustível e por isso tive essa motivação de trabalhar este tema, tendo em conta os problemas que temos em Cabo Verde, não só devido a essa dependência de combustíveis fósseis, como também o descarte inadequado dos óleos alimentares usados, onde ambos têm causados vários problemas a nível ambiental, social e económico. Neste projeto pretendo mostrar como podemos fazer a produção de biodiesel utilizando como matéria-prima óleos alimentares usados, a fim de contribuir para melhorar o nosso País e minimizar esses problemas acima apontados.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo principal deste projeto é promover as energias renováveis através do dimensionamento de um reator de produção de biodiesel que irá utilizar como matéria prima OAU's.

1.3 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal delinear-se os seguintes objetivos específicos:

- Comparar o gasóleo com o biodiesel, como combustíveis do setor automóvel;
- Descrever o processo de transesterificação;
- Dimensionar um reator para a produção de biodiesel;
- Descrever a viabilidade económica do projeto;
- Analisar e refletir sobre os resultados obtidos;
- Construção de uma análise swot.

1.4 Metodologia de investigação

Para a realização deste trabalho recorreu-se, numa primeira fase, à pesquisa de dados teóricos existentes sobre o assunto através de pesquisa bibliográfica (livros, artigos, etc.).

Numa segunda fase fez-se a análise e desenvolvimento do dimensionamento, tendo em conta o conhecimento, técnicas e os materiais a serem utilizados para a concretização desse projeto.

Numa terceira fase fez-se análise dos resultados obtidos, e por fim as respetivas conclusões.

1.5 Estrutura do trabalho

De acordo com os objetivos descritos, este trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos.

No primeiro capítulo encontramos a introdução da problemática tratada, a definição dos objetivos específicos e geral do trabalho, a descrição da metodologia de investigação e estrutura do trabalho.

No segundo capítulo fez-se o levantamento do estado de arte do biodiesel, retratando a sua história, as matérias-primas utilizadas na produção e as tecnologias de produção.

No terceiro capítulo fez-se uma abordagem sobre o tema do projeto em si, onde é descrito o caso de estudo, a produção do biodiesel, e posteriormente, são discutidos os resultados obtidos durante os mesmos.

No quarto e último capítulo fez-se a análise do trabalho e as considerações finais.

II. ESTADO DE ARTE

2.1 Biocombustíveis

Biocombustíveis é qualquer produto usado para a produção de combustíveis partindo-se de biomassa renovável e podem ser produzidos através de várias tecnologias de conversão. Estes combustíveis podem ser álcoois (como o etanol, metanol ou butanol), hidrocarbonetos (semelhantes a gasolina, diesel, e combustível de aviação), hidrogénio (H₂), gás natural sintético (SNG) e outros tipos de biocombustível (Cheng e Timilsina, 2010).

Os biocombustíveis de 1ª geração, que já estão estabelecidos em larga escala comercial, utilizam culturas alimentares como matéria-prima, como o milho e a cana-de-açúcar. Estas culturas de açúcares, de amido e de óleos, são relativamente fáceis de converter em, por exemplo, etanol ou biodiesel, mas representam uma pequena parte da biomassa das plantas, limitando os rendimentos de produção por unidade de área. A utilização de matérias primas que não são utilizadas na indústria alimentar, como a madeira, culturas dedicadamente energéticas, resíduos florestais, resíduos agrícolas, resíduos domésticos, resíduos industriais, algas e outros tipos de matéria-prima lenho-celulósica evita impactes diretos com a indústria alimentar e a competição com o alimento (The regents of the University of California, 2011).

Os biocombustíveis avançados são baseados nos recursos de biomassa celulósica e uso do solo que não são utilizados para outras necessidades primárias (produção alimentar e têxtil), como os resíduos lenho-celulósicos de agricultura e florestais, as culturas de rotação rápida e as culturas não-alimentares (de crescimento em área não cultivável ou culturas não alimentícias), a fração orgânica de resíduos urbanos e a biomassa á base de algas; em suma, biomassa celulósica, lenho-celulósica e algas (Simbolotti, 2012).

A biomassa celulósica é constituída por três componentes principais: a celulose, a hemicelulose e a lenhina. Celulose e a hemicelulose são polímeros de hidratos de carbono

que podem ser decompostos em açúcares para 10 fermentação. A lenhina é inerte na conversão biológica, pelo que pode ser utilizada nos processos de conversão termoquímicos (The regents of the University of California, 2011).

As tecnologias de produção de biocombustíveis avançados têm a vantagem de aproveitar uma maior parte da biomassa das matérias-primas (uma maior parte das plantas e do material celulósico), como madeira, gramíneas, palhas da indústria agrícola e a fração orgânica de resíduos domésticos (Cheng e Timilsina, 2010).

Os biocombustíveis avançados estão atualmente em pesquisa e desenvolvimento, tais como, o bio hidrogénio, o bio metanol, o Fischer-Tropsch diesel, o bio etanol, o biobutanol, biogasolina, (gasolina renovável), diesel renovável, mistura de álcoois e bio-SNG. As algas podem produzir vários biocombustíveis ou bio óleo e são uma matéria prima com necessidades reduzidas de inputs energéticos e com altos rendimentos de produtividade na produção de biocombustíveis. Os biocombustíveis sintéticos produzidos a partir da biomassa, por exemplo, através do processo Fischer-Tropsch ou outras reações catalíticas também se incluem na categoria de biocombustível avançado (Cheng e Timilsina, 2010).

Atualmente, a reciclagem de resíduos agrícolas e agroindustriais vem ganhando espaço cada vez maior, não simplesmente porque os resíduos representam "matérias primas" de baixo custo, mas, principalmente, porque os efeitos da degradação ambiental decorrente de atividades industriais e urbanas, estão atingindo níveis cada vez mais alarmantes (Rossi, 1999, cit. in Fernandes *et al.*, 2008).

2.2 Biodiesel

Biodiesel é definido como sendo um biocombustível substituto natural e renovável do diesel de petróleo produzido de óleos vegetais ou gorduras animais. É um processo simples que mistura bio óleos, catalisador e um álcool para formar biodiesel, que é frequentemente misturado com o diesel convencional derivado do petróleo (costa, 2009).

As aplicações do diesel fóssil têm grande destaque nas áreas de transporte e de geração de energias térmica e elétrica, mas o biodiesel quando submetido ao funcionamento de motores térmicos, apresenta um comportamento satisfatório e é visto como um excelente substituto do diesel convencional. Além disso, o fato de o biodiesel ser miscível ao diesel fóssil levou muitos países a testar misturas binárias de biodiesel/petrodiesel, formando o “ecodiesel”, que resultou na redução não apenas do consumo de combustível fóssil como também dos impactos ambientais por ele causados (Parente, 2003).

O biodiesel contribui, não apenas com a redução das emissões de alguns gases tóxicos ao meio ambiente como também melhora a lubrificação e a potência dos motores dos veículos por apresentar elevado índice de cetano, além de apresentar alto ponto de fulgor, o que oferece manuseio e armazenamento mais seguros. A produção deste combustível em escala industrial poderá apressar o fim das importações de diesel (Maciel e Medeiros, 2016).

TABELA 1:COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DO DIESEL E DO BIODIESEL

Propriedades	Diesel	Biodiesel
Viscosidade cinemática (mm ²) a 40°C	1,9-4,1	1,9-6,0
Massa específica (g/m)	0,85	0,88
Ponto de ignição	60-80	100-170
Ponto de fulgor	-35 a -15	-15 a 16
Água (% volume)	0,05	0,05
Carbono (% massa)	87	77
Hidrogénio (% massa)	13	12
Oxigénio (% massa)	0	11
Enxofre (% massa)	0,05	0,05
Número de cetano	40-55	48-60

Fonte: Dermirbas, 2008

2.2.1 Classificação dos tipos de Biodiesel

Misturas de Biodiesel são denominadas com BXX, onde XX refere-se à quantidade de biodiesel presente na mistura com diesel, ele é classificado da seguinte maneira.

- B2 = 2% de biodiesel misturado com 98% de diesel
- B5 = 5% de biodiesel misturado com 95% de diesel
- B10 = 10% de biodiesel misturado com 90% de diesel
- B20 = 20 % de biodiesel misturado com 80% de diesel
- B100 = 100% de biodiesel em sua forma pura.

O uso do Biodiesel num motor convencional a diesel reduz substancialmente as emissões de hidrocarbonetos não queimados, monóxido de carbono, sulfatos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, e material particulado. As maiores reduções são obtidas usando-se o B100 (biodiesel puro), no entanto, emissões de óxidos nítricos, aumentam de acordo com a concentração do biodiesel no combustível e o tipo de biodiesel usado (Udaeta *et al.*, 2004).

2.2.2 História do Biodiesel

Em 1895, Rudolf Diesel iniciou as pesquisas para utilização de subprodutos do petróleo como combustível para a sua invenção motor com ignição por compressão. Em 1900, na Exposição Mundial de Paris, demonstrou o seu novo motor utilizando óleo de amendoim (Ghesti, 2006).

O termo “Biodiesel” apareceu somente em 1980, apesar de o termo ser recente. A busca para conseguir gerar energia em cima de óleos renováveis tais como vegetal e animal vem desde o Século XIX, onde pesquisas se iniciaram com a intenção de buscar novos combustíveis para motores de combustão interna (Maciel e Medeiros, 2016).

O primeiro relato de produção de biodiesel a partir da transesterificação de esteres de ácidos gordos foi patenteado pelo belga Chavanne da Universidade de Bruxelas e Louvian, na Bélgica em 1937 (Krzysztof, 2016).

A década de 90 do século XX, caracterizou-se pela produção em escala industrial, visando atender à preocupação ambiental e à introdução do conceito de desenvolvimento sustentável. Em 1998, de janeiro a março, foi realizado um teste com o uso monitorizado de biodiesel misturado com diesel de petróleo em veículos, B20 (20% de biodiesel e 80% de diesel convencional). A produção mundial de óleos vegetais cresceu de cerca de 70 milhões de toneladas em 1997 para 90 milhões de toneladas em 2001 (Ghesti, 2006).

Segundo Oliveira *et al* (2008), o uso de óleos vegetais como combustível foi rapidamente superado pelo uso dos óleos diesel derivado de petróleo por fatores tanto económicos como técnicos. Naquela época, os aspetos ambientais que privilegiam hoje os combustíveis renováveis como o óleo vegetal, não foram considerados importantes e o petróleo foi adquirindo grande importância com o aumento de uso de motores a diesel. Somente na década de 70, devido à crise petrolífera internacional que se enfrentou ao detetarem a fragilidade do sector energético sustentado por fontes não renováveis de energia, que os investimentos em desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia voltaram a aumentar.

Em 1991, a comunidade Europeia (CE) propôs uma dedução fiscal de 90% para o uso de biocombustíveis, incluindo o biodiesel. Várias centrais de biodiesel foram construídas por toda Europa, sendo que em 2005 a União Europeia respondeu com quase 89% de toda produção mundial do biodiesel (Dermibas, 2008).

No geral, o desenvolvimento e a utilização global de bioenergia e biocombustíveis continuarão a aumentar, esperando que até 2050 a bioenergia forneça 30% da energia fornecida no mundo (Guo *et al.*, 2015).

2.2.3 Propriedades Físicas e Químicas do Biodiesel

Segundo Dib (2010), várias propriedades físicas e químicas foram padronizadas, tais como massa específica, viscosidade cinemática, ponto de fulgor, teor de enxofre, número de cetano, teor de glicerina livre e total, teor de gliceróis, dentre outras. É de grande importância que o biodiesel atenda às especificações mínimas de qualidade, o que não somente preservaria a integridade dos veículos automotores, mas também atenderia aos padrões internacionais do produto.

Através destas propriedades, podem ser observadas as suas vantagens e desvantagens em relação ao diesel convencional.

Propriedades físicas

Viscosidade e Densidade: essas propriedades são muito importantes no que diz respeito ao funcionamento de motores de injeção por compressão. Exercem grande influência na circulação e injeção do combustível.

Lubricidade: A lubricidade é uma medida do poder de lubrificação de uma substância, sendo uma função de várias de suas propriedades físicas, destacando a viscosidade e a tensão superficial.

Ponto de Fulgor: o ponto de fulgor representa a temperatura mínima na qual os vapores do biodiesel pegam fogo em presença de chama (na pressão atmosférica). Esta propriedade somente assume importância no que diz respeito à segurança nos transportes, manuseios e armazenamentos.

Poder Calorífico: O poder calorífico de um combustível indica a quantidade de energia desenvolvida pelo combustível por unidade de massa, quando ele é queimado. O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel do petróleo situa-se na ordem de somente 5 %.

Entretanto, com uma combustão mais completa, o biodiesel possui um consumo específico equivalente ao diesel mineral.

Índice de Cetano: O índice de cetano indica o comportamento do biodiesel durante a combustão e a rapidez dela. Portanto quanto maior for o índice de cetano de um combustível, melhor será a combustão desse combustível num motor diesel. O número de cetano médio do biodiesel é 60, enquanto para o óleo diesel mineral o número de cetanos situa-se entre 48 a 52, bastante menor, sendo esta a razão pela qual o biodiesel apresenta uma ignição mais controlada e queima melhor no motor do que o próprio óleo diesel mineral.

Propriedades químicas

Teor de Enxofre (SO_x): Como os óleos vegetais e as gorduras de animais não possuem enxofre, o biodiesel é completamente isento desse elemento. Os produtos derivados do enxofre são bastante danosos ao meio ambiente (os SO_x são responsáveis pela chuva ácida), ao motor e seus componentes.

Teor de Óxidos Nítricos (NO_x): em relação ao diesel convencional, o biodiesel apresenta um aumento nas emissões de NO_x. Um dos fatores relacionados a este aumento pode ser atribuído à matéria-prima ou à formulação empregada para produção do biodiesel.

Poder de Solvência: O biodiesel, sendo constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo muito grande de substâncias orgânicas, incluindo-se as resinas que compõem as tintas. Dessa forma, cuidados especiais com o manuseio do biodiesel devem ser tomados para evitar danos à pintura dos veículos, nas proximidades do ponto ou bocal de abastecimento.

Estabilidade Oxidativa: O biodiesel é suscetível à oxidação quando exposto ao ar. Esta propriedade pode ser associada à existência das ligações insaturadas nas cadeias carbônicas provenientes dos ácidos gordos, fato que pode comprometer a armazenagem e utilização do

biocombustível, porém pode ser superada pela utilização de aditivos que melhoram a conservação do biodiesel.

Biodegradabilidade e Toxicidade: O biodiesel mostrou-se altamente biodegradável numa simulação de derramamento no solo. Quanto ao fato de ser tóxico, o biodiesel também apresenta menos toxicidade, que o diesel.

2.3 Matéria-prima para produção de biodiesel

As gorduras ou lipídios são os principais constituintes das células de armazenamento de gordura dos animais e das plantas e são as mais importantes reservas alimentares do organismo. (Volhard e Schore, 2004).

Quimicamente, os óleos e gorduras animais e vegetais consistem em moléculas de triglicéridos, as quais são constituídas de três ácidos gordos de cadeia longa, ligados na forma de ésteres a uma molécula de glicerol. Esses ácidos gordos variam na extensão da cadeia carbônica, no número, orientação e posição das insaturações ou duplas ligações (Morrison e Boyd, 2005).

A Tabela 2 apresenta a composição do óleo de soja, através da qual podemos verificar que ele é composto por cinco diferentes ácidos gordos.

TABELA 2: COMPOSIÇÃO DO ÓLEO DE SOJA

Ácidos gordos	Símbolos	Composição (%)
Palmítico	C16	12,36
Estearico	C18	3,70
Oleico	C18:1c	27,00
Linoleico	C18:1c	50,25
Linolênico	C18:3c	10,61

Fonte: Abreu, 2001

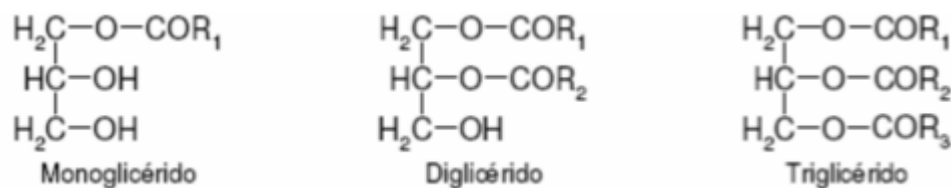
Muitas matérias-primas podem ser utilizadas na produção de biodiesel e podem ser divididas nos seguintes grupos: óleos vegetais, gordura animal e óleos e gorduras residuais.

2.3.1 Óleos vegetais

Os óleos vegetais são constituídos por lípidos que são encontrados nos tecidos vegetais, os lípidos são insolúveis em água e solúveis na maioria dos solventes orgânicos, a sua composição é maioritariamente de triglicéridos (95%-ésteres de glicerol) e ácidos carboxílicos livres, monoglicérido, diglicéridos, ácidos gordos livres, antioxidantes naturais, vitamina E, proteínas e esteróis (Maciel e Medeiros, 2016).

Todos os óleos vegetais, enquadrados na categoria de óleos fixos ou triglicéridos, podem ser transformados em biodiesel, mas os chamados óleos essenciais constituem outra família de óleos vegetais, não podendo ser utilizados como matérias-primas para a produção de biodiesel. No entanto, vale a pena ressaltar que uma grande parte dos óleos essenciais pode ser utilizada, *in natura*, em motores diesel, especialmente em mistura com o óleo diesel mineral e/ou com o biodiesel (Parente, 2003).

FIGURA 1: ESQUEMA DOS TRÊS TIPOS DE GLICERINA EM QUE R1, R2, E R3 REPRESENTAM GRUPOS ALQUILO CONSTITUÍDOS POR ÁTOMOS DE CARBONO E DE HIDROGÉNIO.



Fonte: Guerreiro, 2003

Na sua fabricação pode ser utilizado soja, mamona, pinhão manso, babaçu, sementes de palma, açafraão¹, semente de colza, canola, algodão, girassol, coco e amendoim;(Fernandes *et al.*, 2008).

¹ Estas plantas são típicas do Brasil e que não existem em Cabo Verde.

2.3.2 Gorduras animais

Os óleos e gorduras de animais possuem estruturas químicas semelhantes as dos óleos vegetais, sendo moléculas triglicerídicas de ácidos gordos. As diferenças estão nos tipos e distribuições dos ácidos gordos combinados com o glicerol (Parente, 2003).

Nas fontes para extração de gorduras animais, destacam-se o sebo bovino, os óleos de peixes, a banha de porco, entre outros (Lofrano, 2008).

Os ácidos gordos predominantes em óleos e gorduras são:

- Óleo de Soja: Ácido Oleico;
- Óleo de Babaçu: Ácido Laurídico;
- Sebo Bovino: Ácido Esteárico.

2.3.3 Óleos e gorduras residuais

Os óleos e gorduras residuais, resultantes do processamento doméstico, comercial e industrial, também podem ser utilizados como matéria-prima. Os óleos alimentares usados representam grande potencial de oferta (Lofrano, 2008).

As possíveis fontes dos óleos e gorduras residuais são:

- As lanchonetes e as cozinhas industriais, comerciais e domésticas, onde são praticadas as frituras de alimentos;
- As indústrias nas quais processam frituras de produtos alimentícios, como amêndoas, salgadinhos e várias outras modalidades de petiscos;
- Os esgotos municipais são ricos em matéria gorda, que torna possível a extração de óleos e gorduras;
- Águas residuais de processos de certas indústrias alimentícias, como as indústrias de pescados, de couro, etc.

A fritura é uma das técnicas mais antigas que se tem conhecimento. O processo é de simples manuseio, consistem em basicamente adicionar um alimento sobre uma superfície molhada com óleo quente (Morton, 1998, cit. in Maciel e Medeiros, 2016).

Muitas propriedades do óleo são alteradas no decorrer do processo de fritura, tais como alterações físico-química do óleo, degradação da gordura, hidrólise, oxidação dentre outros, tais mudanças influenciam tanto no óleo a ponto de torna-lo inutilizável para a prática, impróprio para o consumo. (Freire *et al* 2013, cit. in Maciel e Medeiros, 2016). E esse quando já não é mais utilizado é descartado de maneira impropria causando vários problemas ambientais.

2.3.4 Microalgas

As microalgas são consideradas como fonte viável de biomassa para a produção de biocombustíveis.

Microalgas são organismos unicelulares ou coloniais fotossintéticos que estão naturalmente presentes em diferentes ambientes aquáticos e húmidos incluindo rios, lagos, oceanos e solos (Figueiredo et al, 2016).

As microalgas necessitam de uma fonte de energia luminosa para o crescimento autotrófico ou um composto orgânico para crescimento heterotrófico, nutrientes, micronutrientes, vitaminas e com pH e temperatura na faixa de tolerância da espécie de microalga cultivada (Franco *et al*, 2013).

As microalgas necessitam apenas de energia solar e CO₂ para produzirem óleos com uma eficiência muito maior do que a obtida em plantações de oleaginosas (Chisti, 2007).

Podem ser cultivadas em sistemas abertos ou fechados. Nos sistemas abertos as microalgas são cultivadas em lagoas ou tanques abertos que utilizam a luz solar e o CO₂ da atmosfera, em que as culturas são agitadas por sistemas mecânicos. Este sistema apresenta fácil

logística de manutenção, mas, no entanto, requer grandes áreas de cultivo e apresenta um controlo impreciso das culturas. Os sistemas fechados consistem em fotobiorreatores onde se pode controlar todas variáveis necessárias para o crescimento das microalgas. Apresentam altas taxas de crescimento de microalgas, contudo são sistemas custosos e com logísticas de operação e manutenção mais complexos (Fernandez *et al*, 1998; Borowitzka, 1999).

A produtividade de óleo de muitas microalgas, por unidade de área empregada para o processo, pode ser até 100 vezes superior do que aquela obtida com oleaginosas (Brown, 1989). Por esta razão, muitos classificam as microalgas como a única fonte de lípidos e/ou biodiesel capaz de substituir completamente o diesel fóssil. Além disso, as microalgas possuem outras vantagens em relação às plantas convencionais: têm custos relativamente baixos para colheita e transporte, são de fácil tratamento químico em função de suas pequenas dimensões, podem ser cultivadas sob condições impróprias para produção agrícola convencional e seu cultivo implica em menores gastos de água (Sheehan, 2011).

Segundo Ramos *et al*, (2011), apesar das grandes perspectivas que o cultivo de microalgas apresenta para a segurança energética de nossa sociedade, esta realidade ainda está muito distante da viabilidade comercial. Tal conclusão advém dos desafios ainda existentes para esta tecnologia emergente, que podem ser resumidos nos seguintes itens:

- Complexidade da logística de produção em larga escala;
- Dificuldades no uso de organismos geneticamente modificados em sistemas abertos, já que ainda não foi identificada um sistema capaz de produzir biodiesel de alta qualidade;
- Alto custo na formulação dos meios de cultivo (micronutrientes);
- Complexidade no escalonamento de estratégias de produção em sistema fechado, a exemplo dos fotobiorreatores;
- Alto custo de produção em sistemas heterotróficos;
- Alta demanda energética para secagem e extração de lipídeos;

- Alta acidez do material lipídico isolado, algo que depende da tecnologia empregada para a extração.

2.4 Tecnologias de produção de biodiesel

Dentre os diversos fatores predominantes para obtenção de um biodiesel de qualidade, podem ser citados quatro fundamentais:

- Escolha da matéria-prima;
- Seleção dos catalisadores;
- Escolha da rota alquílica;
- Forma de conduzir o processo.

Os óleos vegetais e as gorduras animais são basicamente compostos por triglicéridos, que são cadeias de ácidos gordos ligados ao glicerol (ou glicerina). Na literatura, são conhecidos, pelo menos, 3 processos de produção (Costa e Oliveira, 2006; Knothe *et al*, 2006):

2.4.1 Microemulsões

São dispersões termodinamicamente estáveis, translúcidas, claras e isotrópicas, com tamanho das gotículas variando de 100 a 1000. Microemulsão de óleos vegetais com metanol pode ter desempenho bem semelhante ao do diesel comum (Bagby, 1987).

Essa emulsão foi testada em motores e resultou em acúmulo de carbono nos orifícios do bocal injetor e pesados depósitos nas válvulas de exaustão (Zang, 2003).

2.4.2 Craqueamento térmico ou pirólise

A pirólise é uma modificação química causada pela aplicação de energia térmica na presença de ar ou nitrogénio. Geralmente, os estudos sobre pirólise de triglicéridos incluem avaliação do efeito da temperatura no tipo de produtos obtidos, o uso de catalisadores, e a caracterização dos produtos de decomposição térmica, que, entre outros, inclui alcanos, alcenos, alcadienos, compostos aromáticos e ácidos carboxílicos (Ghesti, 2006).

Na obtenção de biocombustíveis através de pirólise usam-se altas pressões para aumentar a velocidade de reação. Os testes em motores com óleo obtido de pirólise têm sido de curta duração, pois o mesmo se oxida facilmente e deve ser utilizado em um curto espaço de tempo (Schwab *et al.*, 1988).

2.4.3 Transesterificação

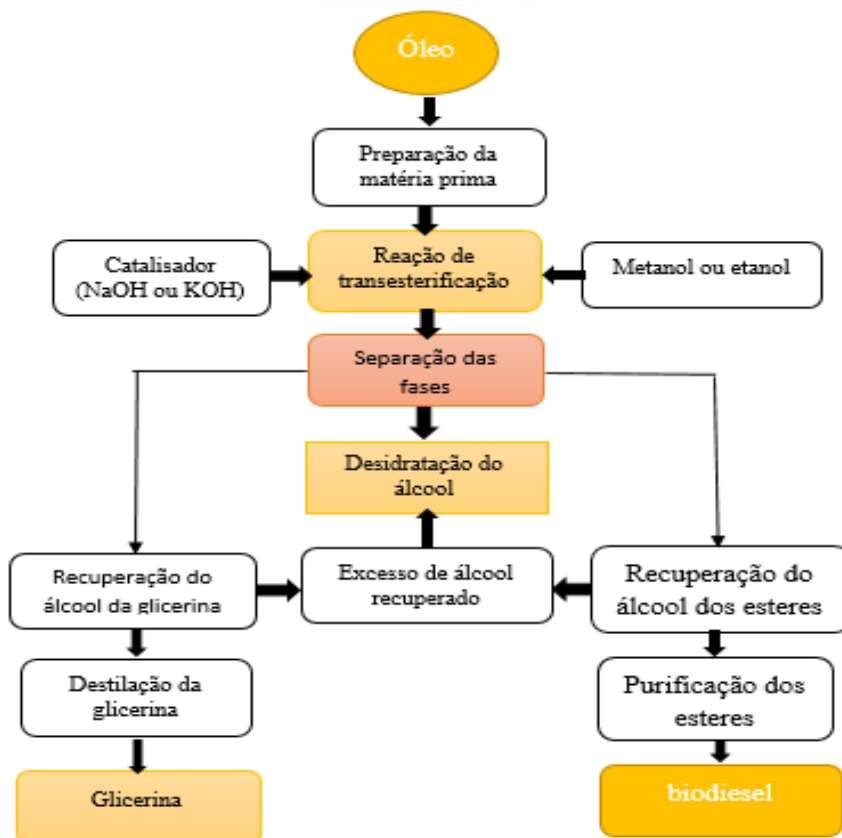
O principal método de produção do biodiesel é a transesterificação. Esse é o termo geral usado para descrever uma importante classe de reações orgânicas na qual um éster é transformado em outro através da troca dos grupos alcóxidos. (Garcia, 2006, cit. in Maciel e Medeiros, 2016).

Neste processo, uma mole de triglicérido reage com três moles de álcool, usualmente o metanol ou o etanol, na presença de um catalisador, que pode ser homogêneo, heterogêneo ou enzimático (Ramos *et al.*, 2011).

No processo de produção do biodiesel utilizando o método de transesterificação estão envolvidas as seguintes etapas:

- Preparação da matéria-prima,
- Reação de transesterificação,
- Separação das fases, recuperação e desidratação do álcool,
- Destilação da glicerina e purificação do biodiesel.

FIGURA 2: ESQUEMA DO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL

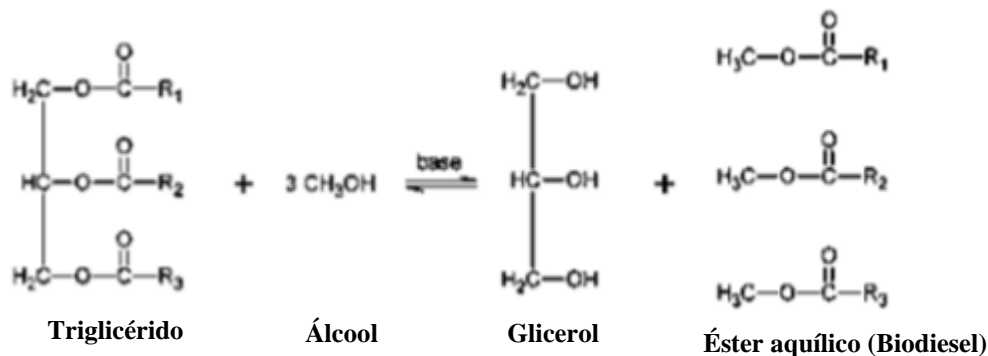


Fonte: Elaboracao propria baseado em Dib,2010

A alcoolize (transesterificação) é a reação de deslocamento do álcool por um nucleófilo. Se dá em três processos consecutivos e reversíveis, onde formam diglicéridos e monoglicérido como intermediários, exigindo um excesso de álcool no meio reacional para promover um aumento no rendimento do produto (Maciel e Medeiros, 2016).

A Figura 3 mostra a reação de transesterificação de um triglicérido com o metanol. Como essa reação é reversível, é necessário o uso em excesso de álcool para deslocar o equilíbrio no sentido do produto desejado.

FIGURA 3: REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO



Fonte: Rahmat, *et al*, 2013

A reação de transesterificação se dá em três etapas reversíveis: a conversão do triglicérido em diglicérido, a conversão do diglicérido em monoglicérido e, finalmente, a conversão em glicerol (Salvi e Panwar, 2012).

O tipo de catalisador, as condições de reação e a concentração de impurezas numa reação de transesterificação determinam o caminho que a reação segue (Lofrano, 2008).

Atualmente, o principal método industrial de produção de biodiesel é com catálise homogênea básica. Ao final dessa reação, além do biodiesel, obtém-se uma mistura de ésteres, álcool, tri, di e monoglicérido, glicerol e sais (Salvi e Panwar, 2012).

As condições típicas adotadas em processos industriais encontram-se listadas na Tabela 3.

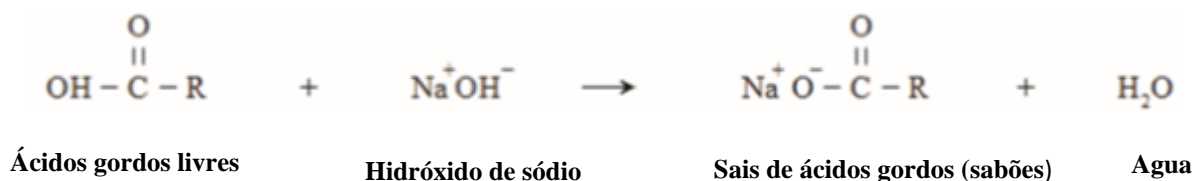
TABELA 3: CONDIÇÕES TÍPICAS DO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO COM HOMOGÊNEOS BÁSICOS

Matéria-prima	Triglicéridos refinados (FFA<0,5 %; H₂O<0,06 %) e álcool de cadeia curta anidro
Razão molar álcool: óleo	6:1
Temperatura	60-65°C
Pressão	0,14-0,41 MPa
Catalisador	NaOH ou KOH
Concentração do catalisador (em relação à massa de óleo)	0,25-2 % m/m
Velocidade de agitação	300-600 rpm
Tempo de reação	1h para conversão superior a 98 %

Fonte: Abbaszaadeh *et al.*, 2012

As grandes limitações desse processo são a sensibilidade ao teor de ácidos gordos livres ácidos monocarboxílicos que ocorrem naturalmente nos óleos e gorduras e que não estão ligados ao glicerol, à concentração de água no meio reacional, reduzem a conversão significativamente, que resulta na formação de sabão, como mostra a figura 4, prejudicando, portanto, a obtenção dos ésteres (Dib, 2010).

FIGURA 4: REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO



Fonte: Dib, 2010

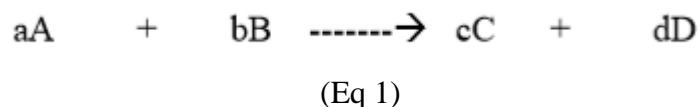
A saponificação apresenta-se como um problema no processo de obtenção do biodiesel. O excesso de ácidos gordos livres reage com boa parte do catalisador empregado no processo, o que implica em aumento do consumo dos hidróxidos e, conseqüentemente, na formação

de sabões que, por sua vez, implica em uma maior emulsificação entre os ésteres e o glicerol, dificultando a separação de ambos através da decantação (Dib, 2010).

2.5 Álcoois utilizados nas reações químicas de produção de biodiesel

Como a transesterificação é uma reação em equilíbrio, o excesso de álcool é necessário para obter maiores conversões, ou seja, essa reação é reversível, por isso o uso em excesso de álcool é necessário para deslocar o equilíbrio no sentido do produto desejado. A razão molar comumente adotada de metanol é de 6:1 (álcool: lípido), 6 moléculas de álcool para cada molécula de triglicérido, sendo que o valor estequiométrico é de 3:1 (Motasemi e Ani, 2012).

A reação irreversível que ocorre entre triglicéridos (A) e do álcool (B) para dar o biodiesel (C) e glicerol (D) com coeficientes estequiométricas a, b, c, e d é mostrado na Equação 1. Nós estabelecemos a = 1 e b = 6, que prevê a produção de c = 3 e d = 1 (Ajala, 2018).



Na reação de transesterificação são usados, preferencialmente, álcoois de baixa massa molecular, como por exemplo, metanol, etanol, propanol, butanol e álcool amílico (Ferrari *et al.*, 2005), mas metanol e etanol são os mais frequentemente utilizados.

O metanol é o álcool de cadeia curta mais comumente usado na reação devido ao baixo custo e às vantagens físico-químicas: a solubilidade do catalisador em metanol é mais rápida; é o álcool mais polar, de menor cadeia, e que reage mais facilmente com os triglicéridos, levando a uma maior taxa de reação (Kanitkar *et al.*, 2011).

Entretanto, metanol é tóxico e tem baixo ponto de ebulição, 64,7°C, muito próximo da temperatura de operação comum do processo, 60 a 65 °C (Sharma e Singh, 2009).

A reação de transesterificação ocorre essencialmente com a formação de emulsões óleo-álcool. No caso da metanólise, as emulsões são quebradas facilmente para formar glicerol e ésteres. Já com o etanol, as emulsões são mais estáveis e interferem, portanto, na separação dos ésteres. Por isso, o tempo de separação das fases após a reação aumenta com o uso de etanol (Kanitkar *et al.*, 2011).

2.6 Catalisadores

A reação de transesterificação para síntese de biodiesel faz uso de catalisadores para acelerar as reações químicas e para obter melhor rendimento, os catalisadores são bem variados, vão de os mais tradicionais como ácido sulfúrico e hidróxidos de potássio e sódio e até recentemente vem se usando bactérias em atmosferas anaeróbicas para a obtenção do biocombustível (Maciel e Medeiros, 2016).

Um catalisador é uma substância que aumenta a velocidade de uma reação, sem ele próprio sofrer variação química (Brown *et al.*, 2005).

A reação de transesterificação pode ser realizada usando-se catalisadores básicos, ácidos ou enzimas (Lofrano, 2008).

2.6.1 Catalisadores homogêneos ácidos

A catálise ácida apresenta taxas de conversão de triglicéridos muito inferiores aos obtidos na catálise básica homogênea e demanda quantidades maiores de catalisador e relações álcool/óleo mais altas. Os tempos de reação são mais longos e o consumo energético maior, visto que a maioria dos processos demanda aquecimento (Lofrano, 2008).

Contudo, a rota ácida permite a utilização de óleos e gorduras que possuem um alto teor de ácidos gordos livres, como muitos óleos vegetais não refinados, e resíduos industriais e domésticos ricos em triglicéridos, como óleos de fritura usados. Portanto, a rota catalítica

ácida poderá desempenhar um papel relevante no futuro, no que diz respeito à produção de biodiesel (Souza, 2006).

2.6.2 Catalisadores homogêneos alcalinos ou básicos

Os catalisadores, utilizados na catálise básica, são bases fortes como hidróxido de potássio, hidróxido de sódio, carbonatos e metóxidos, etóxidos e em menor grau, protóxidos e butóxidos de sódio e potássio. Nestes processos, a base é dissolvida no álcool utilizado, e adicionada ao óleo. São utilizados reatores agitados, com ou sem aquecimento. O tempo de reação típico é de cerca de 1 a 2 h (Lofrano, 2008).

A maioria do biodiesel produzido internacionalmente é feita a partir da reação de catalisação básica por uma série de motivos como (Udaeta *et al.*, 2004):

- Sua baixa temperatura e pressão;
- Alta conversão (98%) com baixo tempo de reação;
- É uma conversão direta ao biodiesel sem formação de compostos intermediários;
- Não é necessária a utilização de materiais de construção estranhos.

Além disso, a utilização de catalisadores básicos permite obter taxas de reação quase 4000 vezes superiores às obtidas pela mesma quantidade de catalisadores no processo ácido e o custo das bases fortes é bastante inferior ao dos catalisadores enzimáticos, mas na transesterificação com catalisadores básicos, água e ácidos gordos livres não favorecem a reação. Assim sendo, são necessários triglicéridos e álcool desidratados para minimizar a produção do sabão (Lofrano, 2008).

2.6.3 Catalisadores enzimáticos

Um grande número de catalisadores muito eficientes são conhecidos como enzimas que são moléculas grandes de proteínas com massas moleculares variando entre 10 mil e, aproximadamente, 1 milhão (Brown *et al.*, 2005).

A transesterificação total dos ácidos gordos livres e o uso de condições brandas no processo, obtém-se rendimentos aproximadamente 90%, tornando-se uma alternativa comercialmente muito mais rentável. A catálise enzimática faz com que não ocorram reações paralelas de formação de subprodutos, o que ameniza gastos com a posterior purificação, entretanto tem uma grande desvantagem que é o alto custo das enzimas puras (Lofrano, 2008).

2.7 Reatores para produção de biodiesel

Reatores químicos são recipientes projetados para haver reações químicas com influencia de transferência de energia e massa, onde se possui um misturador para o qual deve atender as necessidades da reação a fim de promover maior rendimento e qualidade. Existem as mais diversas formas de reatores químicos, dentre os modelos existente, os mais comuns são os reatores em tanques e reatores em tubo (Foger, 1992, cit. in Maciel e Medeiros, 2016).

As tecnologias de produção de biodiesel estão melhorando muito com o surgimento na última década de vários tipos de reatores que estão disponíveis em vários tamanhos. Os tipos comuns de reatores investigados para a produção de biodiesel são, reatores descontínuo e reatores contínuos. O reator mais comum na produção de biodiesel é o do tipo de lote ou descontínuo. (Leevijit., *et al* 2016).

2.7.1 Reator descontinuo ou em lote

O processo em lote é barato, exigindo muito menos capital inicial e investimento em infraestrutura. É flexível e permite ao usuário acomodar variações no tipo, composição e quantidade de matéria-prima. As principais desvantagens do processo em lote incluem baixa produtividade, maior variação na qualidade do produto e requisitos mais intensivos de mão-de-obra e energia (Energia da fazenda, 2019).

FIGURA 5: REATOR DESCONTINUO



Fonte: Energia da fazenda, 2019

Os reatores em lote são geralmente usados em pequenas plantas de produção de biodiesel. Uma desvantagem dos processos em lote é que, para aumentar a produção, pode ser necessário aumentar o tamanho físico da planta em uma quantidade proporcional (comprando outro reator, por exemplo), (Energia da fazenda, 2019).

2.7.2 Reatores de fluxo contínuo

Os processos de transesterificação contínua são preferidos aos processos em lote na produção comercial de grande capacidade, porque esses processos resultam em qualidade consistente do produto e baixos custos de capital e operação por unidade de produto. O sistema de fluxo contínuo mais comum na produção de biodiesel é o reator de tanque agitado contínuo (CSTR), (Maciel e Medeiros, 2016).

O reator real pode ser o mesmo para ambos os dois tipos de reatores, mas são necessários controlos adicionais para configurar o reator em um sistema de fluxo contínuo. O processo de fluxo contínuo normalmente requer controlos complexos e monitoramento on-line da qualidade do produto. Num processo de fluxo contínuo, geralmente é possível aumentar a capacidade de produção da planta aumentando a taxa de alimentação ou diminuindo o tempo de reação (Energia da fazenda, 2019).

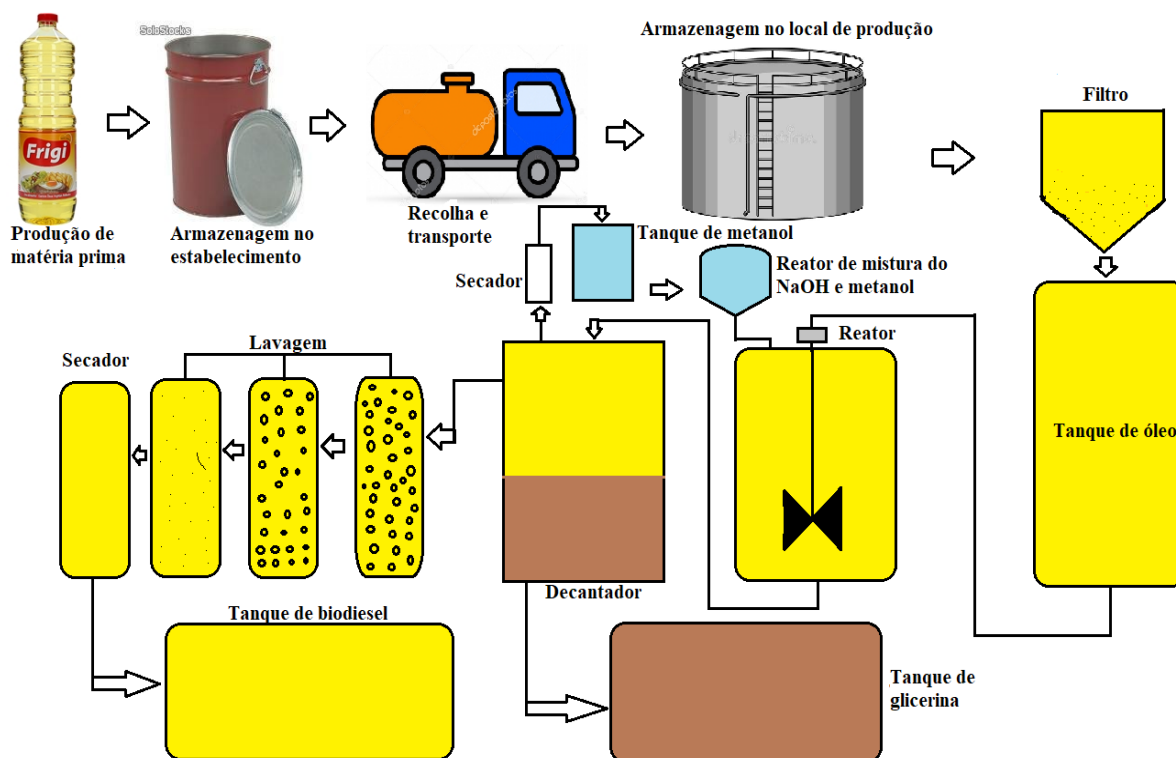
3.2 Disponibilidade da matéria prima

O óleo vai ser recolhido em 30 estabelecimentos, onde foi aplicado um questionário e todos concordaram em doar os óleos alimentares usados, visto que, esse óleo é descartado incorretamente pelos mesmos, atirando-os nos esgotos, no solo ou no mar, que consequentemente gera muitos problemas para o ambiente, entre eles: contaminação e destruição da fertilidade do solo, contaminação da água subterrânea e diminuição da disponibilidade de água potável, contribuição para as mudanças climáticas, entre outros.

3.3 Cadeia de produção de biodiesel

Essa cadeia de produção de biodiesel vai ser dividida em 10 etapas como mostra a figura 5:

FIGURA 5: ETAPAS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL



Fonte: Elaboração própria

Produção da matéria prima- esse vai ser produzido em restaurantes, bares e hotéis da ilha de São Vicente.

Armazenagem do óleo no estabelecimento- em cada estabelecimento vai ter um recipiente de 50L, com capacidade adequado para armazenar o óleo até a vinda de um carro de recolha.

Recolha e transporte- A recolha será feita semanalmente e será utilizado um carro para transportar esse material até o local de produção de biodiesel.

Armazenagem do óleo no local de produção- essa armazenagem será feita utilizando recipientes maiores, 100L, com capacidade adequada para manter esse óleo em condições máximas para produção do biodiesel.

Pré-tratamento do óleo- O primeiro passo a dar no processo de produção de biodiesel é submeter a matéria prima em estudo a um processo de pré-tratamento, como a neutralização, filtração ou secagem, para reduzir as impurezas e melhorar a sua qualidade. A filtração vai ser realizada usando-se papel de filtro com diferentes porosidades. A humidade da matéria-prima deve ser muito baixa e para tal vai ser usados agentes secantes tais como, sulfato de magnésio ou sulfato de sódio, dentro de um tanque com uma temperatura mais alto para facilitar sua secagem. (Lofrano, 2008).

Reator de produção de biodiesel- para a produção do biodiesel será utilizado um reator específico para tal. Para essa produção vai ser utilizado o processo de transesterificação, com metanol, na presença do catalisador homogéneo alcalinos ou básicos, hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio, tendo em conta as suas vantagens em relação aos outros quando utilizados nesse processo. Dentro do reator vai conter um agitador para fazer a mistura da matéria prima e os reagentes (catalisador e o álcool).

Separação de fases- A separação de fases é uma etapa importante na produção de biodiesel. O processo de isolamento dos produtos pode ser experimentalmente difícil, e

pode elevar, substancialmente, os custos de produção. A pureza do biodiesel deve ser alta e o teor de ácidos livres, álcool, glicerina e água devem ser mínimos de modo que a pureza do biodiesel seja maior que 96,5% (Karaosmanoglu, 2007).

Segundo Lofrano (2008) a mistura típica do produto de uma reação de transesterificação contém ésteres, monoglicéridos, diglicéridos, glicerol, álcool e catalisador, em várias concentrações. Na separação, o principal objetivo é remover os ésteres dessa mistura, a baixo custo, e assegurar um produto de alta pureza. A glicerina produzida é mais densa que os ésteres (biodiesel), logo fica na parte inferior e o biodiesel na parte superior.

Recuperação e desidratação do álcool- A fase inferior que contém água e álcool deve ser submetida a um processo de evaporação. Os vapores de água e álcool são, a seguir, liquefeitos em um condensador. Da mesma forma, o álcool residual é recuperado da fase superior. Após essa recuperação, o álcool ainda contém água e deve ser desidratado. Essa desidratação é normalmente feita por destilação. A desidratação do metanol é bastante simples e fácil de ser conduzida, uma vez que a volatilidade relativa dos constituintes dessa mistura é muito grande e inexistente a azeotrópica (Lofrano. 2008).

Purificação do biodiesel- O biodiesel vai ser purificado por destilação sob pressão reduzida para remover o excesso de metanol e de água gerada durante a reação. Os ésteres deverão ser lavados por centrifugação e, posteriormente, secos. (Ramos *et al*, 2011).

Se a reação de transesterificação for incompleta, ou caso a purificação não seja eficiente, o biodiesel produzido pode ficar contaminado com glicerol, triglicerídeos e álcool. A presença de contaminantes pode ser prejudicial para os motores e para o meio ambiente. (Vieira, 2008).

Produto final: Biodiesel- o combustível produzido vai ser comercializado para as empresas de combustível da ilha.

Subproduto: Glicerina- Na produção de biodiesel utilizando o processo de transesterificação de óleos e gorduras residuais, também a produção de um subproduto chamado glicerina.

Segundo Lofrano (2008), a glicerina é uma matéria-prima de alto valor agregado que pode ser empregada em uma ampla variedade de produtos como cosméticos, químicos, alimentícios e farmacêuticos. Não se pode simplesmente depositar a glicerina residual em lixeiras ou aterros, devido à sua alta demanda bioquímica de oxigênio, pode criar um problema ambiental, então a glicerina produzida será comercializada para as empresas de cosméticos e farmacêuticos da ilha.

3.3.1 Etapas de produção do biodiesel

1º- Pré-tratamento do óleo: a matéria prima vai ser submetido a um processo de pré-tratamento em um recipiente adequado para o efeito onde esse vai ser filtrado para remover as impurezas e também vai ser submetido a um processo de secagem para limpar a água que esse contém e se não for retirado prejudica o processo;

2º- Depois em um reator, ocorre a mistura álcool (etanol ou metanol) mais catalisador (NaOH). No processo de transesterificação em meio alcalino o álcool e o catalisador têm de ser misturados, e depois adicionados a matéria prima.

3º- Em outro reator ocorre a transesterificação (reação do óleo com catalisador mais álcool). A reação é realizada por um agitador mecânico em temperatura controlada;

4º- O álcool em excesso é submetido a um processo de evaporação e destilação. Neste caso vai ser utilizado um trocador de calor que realizará a condensação do álcool em excesso podendo ser coletado em um Becker.

5º- Nesta etapa ocorre a separação das fases por decantação (Éster e glicerina Bruta). A glicerina de maior densidade permanecerá no fundo do recipiente e o biodiesel acima;

6º- O éster contendo impurezas será então lavado por pulverização de água em temperatura controlada para retirada de impurezas como, por exemplo, resíduos de catalisador e glicerina;

7º- Finalmente em um secador os resíduos de água serão evaporados por aquecimento, e então, o biodiesel será coletado em reservatório próprio para posterior análise de qualidade.

3.4 Escolha do agitador

A agitação mecânica é um dos processos de operações unitárias mais antigos e usado para reações que necessitam de mistura, homogeneização, oxigenação e afins, na indústria química. Para cada tarefa existe um misturador com modelo apropriado, os mais usuais são: agitador de hélice, de disco, de impulsor, de lâminas, de ancora e de parafuso (Maciel e Medeiros, 2016).

A escolha do agitador é muito importante na construção de um reator para a produção de biodiesel, visto que este melhora a produção de biodiesel reduzindo o tempo de reação (Ajala *et al*, 2018).

Para o meu projeto vou utilizar um agitador de hélice que é o mais apropriado para este tipo de projeto, tendo em conta suas características em relação aos outros tipos de agitadores, como podemos observar na tabela 4.

TABELA 4: TIPOS DE AGITADORES E SUAS CARACTERÍSTICAS

Agitador	d/D	Velocidade μ (m/s)	Viscosidade dinâmica η (mPa.s)
Hélice	0,3	3-12	500
Disco	0,3	3-12	500
Impulsor	0,6	1-10	2000
Lâmina	0,5	0,5-3	2000
Âncora	0,9	0,5-3	5000
Parafuso	0,9	0,5-3	1000

Fonte: McCabe,2001

A escolha do agitador depende diretamente do tamanho e da geometria do recipiente, do efeito de mistura que deseja obter em relação ao tempo e as propriedades dos materiais a serem mixadas (Maciel e Medeiros,2016).

3.5 Projeção do reator

Para o dimensionamento vai ser utilizado o processo de transesterificação metílica de óleos alimentares usados em meio alcalino homogêneo.

Para alcançar uma conversão alta, o projeto do reator deve levar em consideração alguns elementos importantes, incluindo o tamanho do reator (dimensões do reator), a sua construção, materiais, sistema de agitação, hidrodinâmica, as propriedades físicas dos reagentes, e métodos para fornecer calor ou remover. Outros fatores que determinam a eficiência do processo do reator incluem sistemas de controle de velocidade do agitador, controle de temperatura para evitar sobreaquecimento da mistura de reação e para evitar a evaporação de metanol, entre outros (Ajala *et al*, 2018).

O material para o recipiente e o agitador vai ser feita de aço inoxidável que são os mais utilizados e mais recomendados para construção dos reatores anaeróbicos, porque são compatíveis com as propriedades químicas do óleo e glicerina.

A tecnologia de produção de biodiesel foi estudada para desenvolver um reator que vai utilizar 40L de matéria prima por dia para produção de biodiesel, de acordo com a quantidade de matéria prima obtido nos estabelecimentos. Sabendo que o sistema de produção de biodiesel irá funcionar 8h por dia, então esse processo será realizado 2 vezes por dia, tendo em conta o tempo de produção de biodiesel, que será mostrado na tabela 5:

TABELA 5: TEMPO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Tempo	Hora
Tempo de reação	1h
Tempo morto	30min
Tempo de evaporação	45min
Tempo de condensação	45 min
Tempo de separação de fases	1h
Tempo total	4h

Fonte: Rúpolo e Levendosk, 2015

Sendo assim para cada processo de produção vai ser utilizado 20L de matéria prima.

Para sabermos as quantidades certas dos reagentes a ser usada para a síntese de ésteres recorreu-se primeiramente a conhecer características químicas dos compostos como as massas molares relativas médias (M_r), $M_r(\text{metanol}) = 32,04\text{g/mol}$, $M_r(\text{NaOH}) = 40\text{g/mol}$ e $M_r(\text{óleo soja}) = 873\text{g/mol}$, as densidades (ρ), $\rho(\text{metanol}) = 0,792\text{kg/L}$ e $\rho(\text{óleo}) = 0,9\text{kg/L}$ $\rho(\text{NaOH}) = 2.13\text{g/cm}^3$ (Constantino *et al*, 2004).

Primeiro temos de transformar a massa do óleo para gramas:

$$\text{Massa do óleo (kg)} = v. \rho_{(\text{óleo})} = 20\text{L} \times 0,9\text{kg/L} = 18\text{kg} = 18000\text{g}$$

(Eq 2)

Para o projeto vai ser usado um excesso de metanol para deslocar o equilíbrio no sentido do produto pretendido (6:1, razão de metanol: óleo), uma vez que a literatura sugere que esta é uma razão ótima para a transesterificação de óleos vegetais, para produzir um rendimento elevado de biodiesel num tempo de reação curto.

A quantidade de metanol na reação é calculada através da seguinte equação (Sani *et al*, 2012).

$$\begin{aligned}\text{Massa do metanol} &= \frac{6 \times m(\text{óleo}) \times Mr(\text{metanol})}{Mr(\text{óleo})} \\ &= \frac{6 \times 18000 \times 32,04}{873} = 3963,7\text{g}\end{aligned}$$

(Eq 3)

Transformando a massa de metanol para litros vamos ter:

$$v_{(\text{metanol})} = 3,9637\text{kg} \times 0,792\text{kg/L} = 3,1\text{L}$$

(Eq 3.1)

A quantidade de catalisador é uma variável importante na produção do biodiesel. A quantidade mínima recomendada no processo é de 4 gramas de hidróxido de sódio para cada litro de óleo da matéria prima (Dib, 2010).

A quantidade de catalisador alcalino na reação é calculada através da seguinte equação (Sani *et al*, 2012):

$$\text{Massa de (NaOH)} = 4 \times 20 = 80\text{g}$$

(Eq 4)

Para transformar a massa do NaOH em litros para poder calcular o volume do reator vamos usar a equação:

$$v = \frac{m}{\rho} = 80 \times \frac{1}{2,13\text{g/cm}^3} = 37,6\text{cm}^3 = 0,0376\text{L}$$

(Eq 4.1)

O reator vai ser construído 50% maior, sabendo que a quantidade da matéria prima pode aumentar com aderência de novos estabelecimentos, visto que, nem todos foram entrevistados.

Tendo em conta a quantidade de matéria prima e dos reagentes, podemos calcular o volume do reator como:

$$v(\text{reator}) = v_{(\text{óleo})} + v_{(\text{metanol})} + v_{(\text{catalisador})} \cdot 50\% = 20 + 3,1 + 0,0376 + (20 + 3,1 + 0,0376) \times 0,5 = 34,7\text{L}$$

(Eq 5)

3.5.1 Cálculos efetuados para o dimensionamento do reator

O reator vai ser construído na forma cilíndrica que é o mais apropriado para este tipo de projeto, para evitar regiões mortas ou canto, onde não ocorre a mistura da matéria prima e os reagentes.

Vai ser utilizado a seguinte forma para calcular o diâmetro do cilindro, considerando o comprimento $L=60\text{cm}$ de acordo com os dados acima descritos:

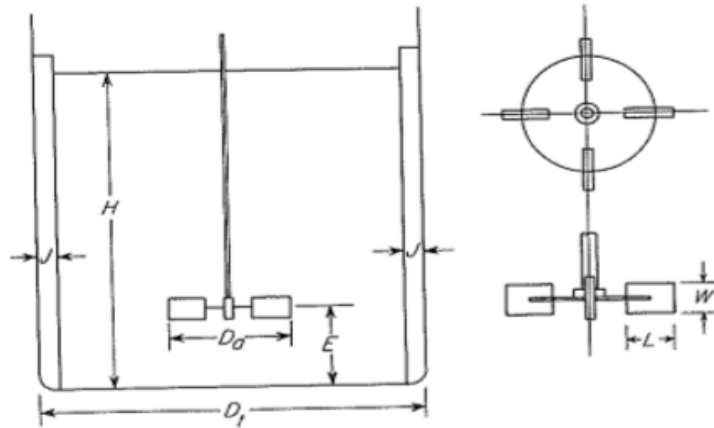
$$v = A_{\text{base}} \times L$$

$$v = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \text{ onde } D^2 = \frac{34,7}{4,71} \text{ logo } D = \sqrt{7,36} = 2,72 \text{ dm} = 0,272 \text{ m}$$

(Eq 6)

Na figura 6 estão presentes as variáveis de dimensionamento do reator químico.

FIGURA 6: ESBOÇO DO REATOR



Fonte: McCabe, 2001

Onde:

J – Espessura do material

D_t – Diâmetro do tanque

D_a – Diâmetro do misturador

H – Nível do líquido

L – Comprimento das pás

W – Altura das pás

E – Distância das pás ao fundo

Tendo já calculado o valor do diâmetro do cilindro podemos encontrar as dimensões dos outros componentes, com o uso das fórmulas de dimensionamento.

Segundo McCabe (2001), as fórmulas de dimensionando são:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{H}{D_t} = 1 \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad \frac{E}{D_a} = 1 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

(Eq 7)

Os valores obtidos para cada componente são:

$$Dt = 0,272m$$

$$L = 0,0225m$$

$$Da = 0,090m$$

$$E = 0,090m$$

$$H = 0,272m$$

$$W = 0,018m$$

3.5.2 Cálculo de potência do motor do misturador

Um motor DC, vai ser utilizado para acionar o agitador para que esse possa fazer a mistura do material e os reagentes.

Para realizar o cálculo de potência do motor é necessário conhecer as propriedades do fluido no qual se irá trabalhar, sendo assim, as propriedades apresentadas são do óleo.

- Densidade (ρ) = $917,7 \text{ Kg/m}^3$
- Revoluções por segundo (N) = 300 rpm = 5 rps
- Viscosidade dinâmica (η) = $0,059 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

O cálculo de potência do motor é obtido através do Número de Reynolds (Maciel e Medeiros, 2016).

$$R_e = \frac{\rho \cdot N \cdot d^2}{\eta} = \frac{917,7 \times 5 \times (0,272)^2}{0,059} = 5753,8$$

(Eq 8)

Obtendo-se o número de Reynolds é possível dimensionar a potência do motor através da fórmula:

$$P = N_{po} \cdot N^3 \cdot D^5 \cdot \rho$$
$$P = 4 \times (5)^3 \times (0,272)^5 \times 917,7 = 683 \text{ w}$$

(Eq 9)

3.5.3 Consumo energético do reator

Para conhecer o custo de energia elétrica da instalação procedeu-se ao cálculo da energia elétrica gasta no processo de transesterificação.

Os cálculos foram elaborados assumindo os seguintes dados (Rao et al, 2015):

Preço de 1KWh = 32²\$ ECV;

Calor específico da água = 4,18 KJ/Kg°C;

Calor específico do óleo de soja (c_p) = 1,96 KJ/Kg°C;

Perda de calor por radiação e convecção de 10%;

Potência de motor= 0,683kW.

Sistema de aquecimento

O reator foi dotado do sistema de aquecimento por meio de resistência elétrica externa, fixada por abraçadeiras ao seu corpo na porção cilíndrica inferior. Tal conceito dispensa o uso de meios intermediários de transmissão de calor (vapor, água quente, óleos térmicos, etc.), podendo ser aplicado em quaisquer locais que disponham de rede elétrica.

Para calcular o aquecimento do reator (25-60°C) foi utilizado a seguinte equação:

$$Q = m_{(\text{óleo})} \cdot c_p \cdot \Delta T = 18 \times 1,96 \times (60-25) = 1234,8 \text{ kJ}$$

(Eq 10)

Considerando a eficiência do aquecedor 90% logo:

² Tarifa de eletricidade de média tensão imposta pela Agência Regulamentadora Económica (ARE) em Cabo Verde.

$$Q = \frac{1234,8}{0,9} = 1372 \text{ kJ}$$

(Eq 10.1)

$$\text{Equivalente em kWh} = \frac{1372}{3600} = 0,38 \text{ kWh}$$

(Eq 10.2)

$$\text{Custo de Eletricidade (Aquecedor)} = 0,38 \times 6 \text{ h} \times 25 \times 32 = 1\ 824 \$ \text{ ECV}$$

(Eq 11)

O custo da eletricidade gasta no processo de transesterificação com duração de 3 hora (Rao *et al*, 2015).

$$\begin{aligned} \text{Custo da eletricidade mensal} &= 25 \text{ dias} \times \text{potencia do motor} \times \text{n}^\circ \text{ de horas de trabalho} \times \text{preço} \\ \text{de 1kWh} &= 25 \times 0,683 \times 6 \text{ h} \times 32 = 3\ 278,4 \$ \text{ ECV} \end{aligned}$$

(Eq 12)

$$\text{Custo total de eletricidade} = 1\ 824 + 3\ 278,4 = 5\ 102,4 \$ \text{ ECV}$$

(Eq 12.1)

Para garantir a sustentabilidade energética do projeto, o reator vai ser alimentado com painéis fotovoltaicos.

FIGURA 7: PAINÉIS FOTOVOLTAICOS



Fonte: <http://riquezasolar.blogspot.com/>

Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Sabendo que o reator irá gastar por dia 6,378 kWh, e que em São Vicente tem 6 HSP (horas de sol pleno), então podemos calcular a potencia como:

$$P_{FV} = \frac{\text{energia diaria}}{\text{nº de horas}} = \frac{6,378}{6} = 1063w$$

(Eq 13)

Para saber o nº de módulos que vão ser utilizados primeiro temos que ver sua potência. Vai ser utilizado um módulo de 280w.

Para calcular o nº de módulos, temos:

$$N^{\circ} = \frac{PFV}{Pm} = \frac{1063}{280} = 4 \text{ Módulos}$$

(Eq 14)

Escolher o inversor

$$0,9 < P_{FV} < 1,2 P_{FV}$$
$$896 < P_{FV} < 1344 P_{FV}$$

Foi escolhido um inversor de 1kw

Custo dos equipamentos de um kit fotovoltaico

De acordo com os dados fornecidos pela empresa Automatic Life, todo o kit fotovoltaico com essas características tem um custo de 162 955\$ ECV como podemos ver no (anexo A).

3.5.4 Materiais

O reator vai ser um recipiente cilíndrico concêntrico, feita de aço inoxidável, como já foi referido. Os materiais utilizados para sua construção são:

TABELA 6: MATERIAIS UTILIZADOS

Equipamentos	Especificações dos materiais
Tanque do OAU	Plástico transparente
Tanque de reação	Aço inoxidável
Tanque de mistura de metanol e álcool	Plástico transparente
Tanque de decantação	Plástico transparente
Agitador de hélice	Aço inoxidável
Apoio, suporte	Tubo de aço galvanizado
Mangueiras	Mangueira de borracha
Cabo de energia	
Elemento de aquecimento	Bobina de aquecimento elétrico
Motor DC	Potência de 683w
Condensador	

Fonte: Elaboração própria

3.6 Plano de investimento

O plano de investimento de um projeto industrial é a descrição detalhada das necessidades de capital requerido para a materialização do mesmo.

A tabela 7 mostra o custo dos materiais utilizados para a construção do reator.

TABELA 7: INVESTIMENTO DO PROJETO

Item	Valor (ECV)
Equipamentos, acessórios e peças	15 000\$ ECV
Montagem	5 000\$ ECV
Transporte dos equipamentos	1 000\$ ECV
Total	21000\$ ECV

Fonte: Elaboração própria

3.6.1 Custos de Produção

Os custos mais importantes para este estudo englobam a matéria prima utilizada (óleo de fritura usado), eletricidade, metanol e catalisador, venda da glicerina resultante do processo, que é utilizada para a fabricação de cosméticos e na indústria farmacêutica, entre outros.

TABELA 8: CUSTOS MENSAIS DE PRODUÇÃO (PERÍODO DE 8 HORAS/25 DIAS DO MÊS)

Matérias prima	Valor (ECV)
Óleos alimentares usados (1000L)	0\$ ECV
Recolha do óleo	10 000\$ ECV
Catalisador-NaOH (4 kg)	1 704\$ ECV (426\$ ECV por kg)
Metanol (155 L)	15 500\$ ECV (100\$ ECV por Litro)
Total	27 204\$ ECV

Fonte: Elaboração própria

Anualmente o custo de produção é de 197 704\$ ECV.

O custo total do projeto é dado pela soma do custo de produção anual, do reator e do sistema fotovoltaico.

$$\text{Custo total do projeto} = 197\,704 + 21\,000 + 162\,955 = 381\,659\$ \text{ ECV}$$

(Eq 15)

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise do inquérito sobre os óleos alimentares usados nos restaurantes

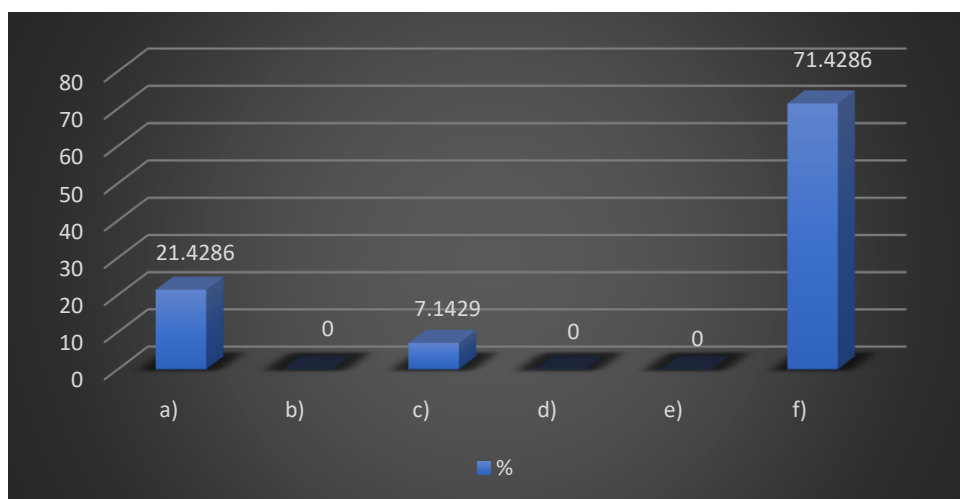
O inquérito sobre a utilização dos OAU's, foi realizada em são vicente, onde inquiriu-se 30 estabelecimentos entre os quais: restaurantes, bares e hotéis.

Esse inquérito foi realizado com a finalidade de conseguir matéria prima e a quantidade disponível para projetar o reator.

As principais conclusões retiradas do inquérito foram as seguintes:

- Relativamente a questão do destino último dado aos óleos provenientes dos estabelecimentos acima apontados, 21.4% deita os ditos óleos nos esgotos, 7.1% enterra-os e 71.4% dão outro destino (um dos estabelecimentos deu duas respostas a mesma pergunta, assinalando duas alíneas diferentes).

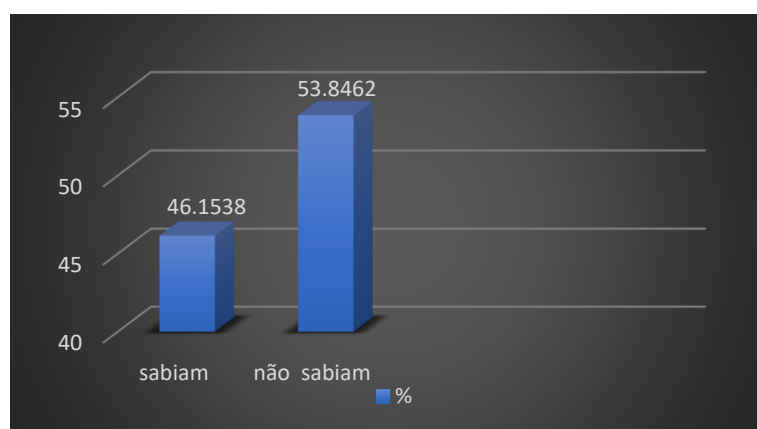
FIGURA 8: GRÁFICO DO DESTINO FINAL DADO AOS OAU'S



Fonte: Elaboração própria

- Quanto á questão da reutilização dos resíduos de óleo como combustível para viaturas, 53,84% dos estabelecimentos afirmaram que não conheciam tal fato, e os restantes já conheciam.

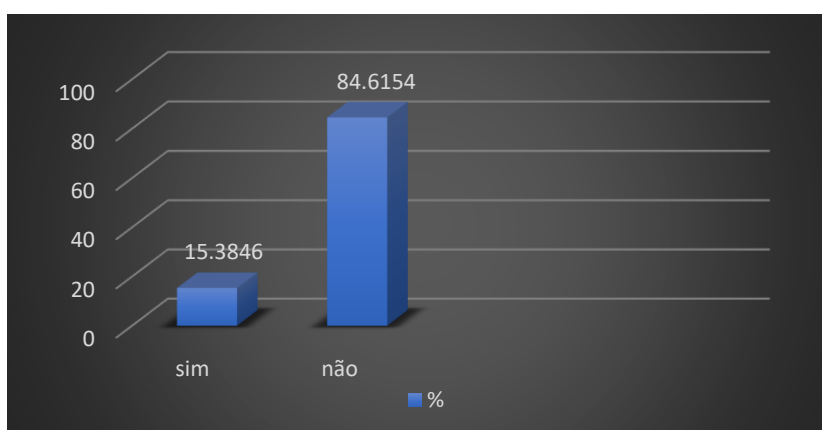
FIGURA 9: GRÁFICO DE REUTILIZAÇÃO DOS OAU'S COMO COMBUSTÍVEL



Fonte: Elaboração própria

- A maioria (84.61%), responderam que não reutilizam esse óleo, e os restantes 15,39% responderam que sim.

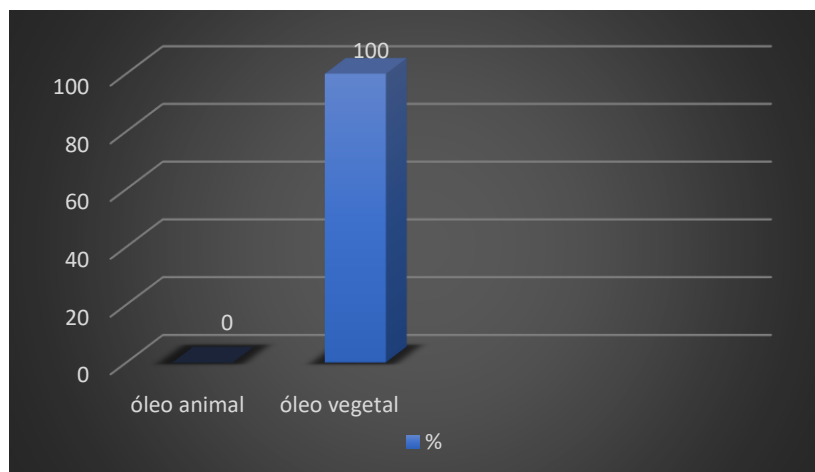
FIGURA 10: GRÁFICO DE REUTILIZAÇÃO DOS OAU'S EM OUTRAS REFEIÇÕES



Fonte: Elaboração própria

- 100% dos estabelecimentos responderam que utilizam óleos alimentares de origem vegetal.

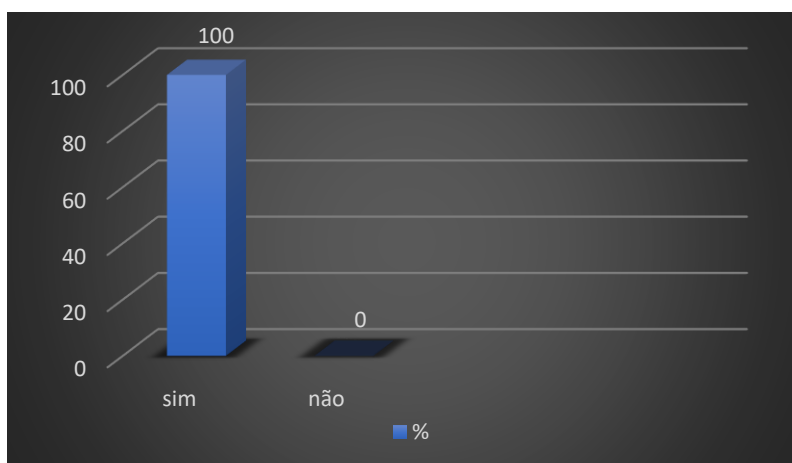
FIGURA 11: GRÁFICO DO TIPO DE ÓLEO UTILIZADO NOS ESTABELECIMENTOS



Fonte: Elaboração própria

- Quanto a questão da participação dos estabelecimentos contactados, todos manifestaram sua disponibilidade em entregar os OAU's.

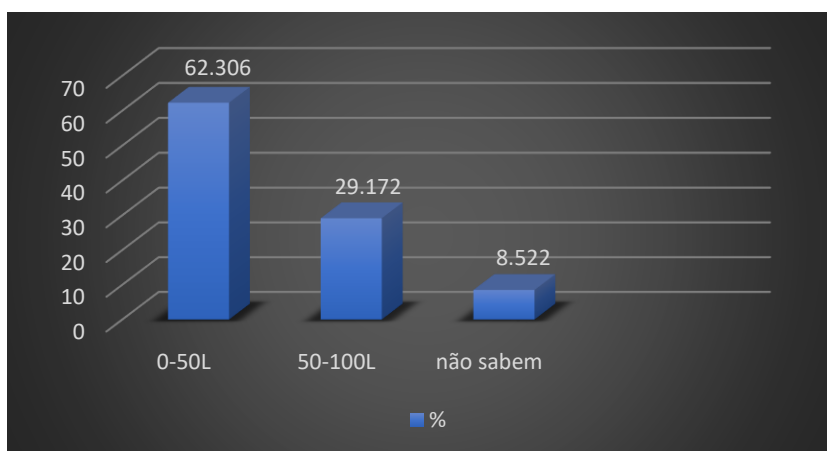
FIGURA 12: GRÁFICO DA DISPONIBILIDADE EM ENTREGAR O OAU A ENTIDADE



Fonte: Elaboração própria

- Relativamente a questão de quantidade de óleo que utilizam por mês (62,3%), responderam que utilizam uma quantidade de 0-50L de óleo, 29,2% utilizam 50-100L e 8,5% não sabem.

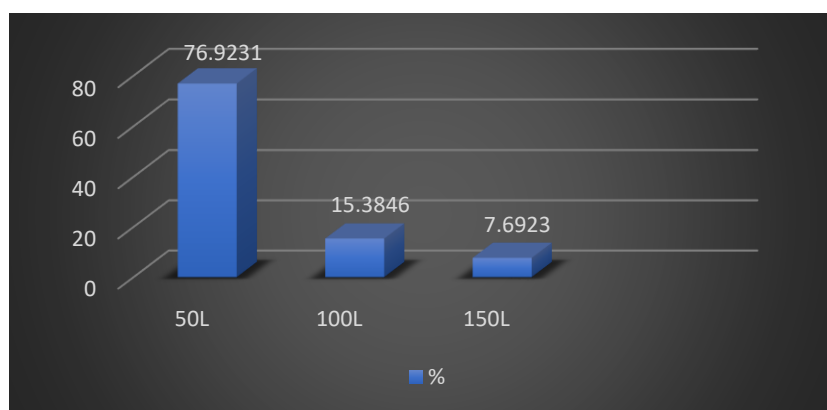
FIGURA 13: GRÁFICO DA QUANTIDADE DE ÓLEO QUE UTILIZAM POR MÊS



Fonte: Elaboração própria

- No que diz respeito a forma de armazenagem dos OAU até a vinda de um transporte, 76,9% preferem os recipientes de 50L, 15,38% preferem os recipientes de 100L e os restantes 7,69% preferem recipientes de 150L.

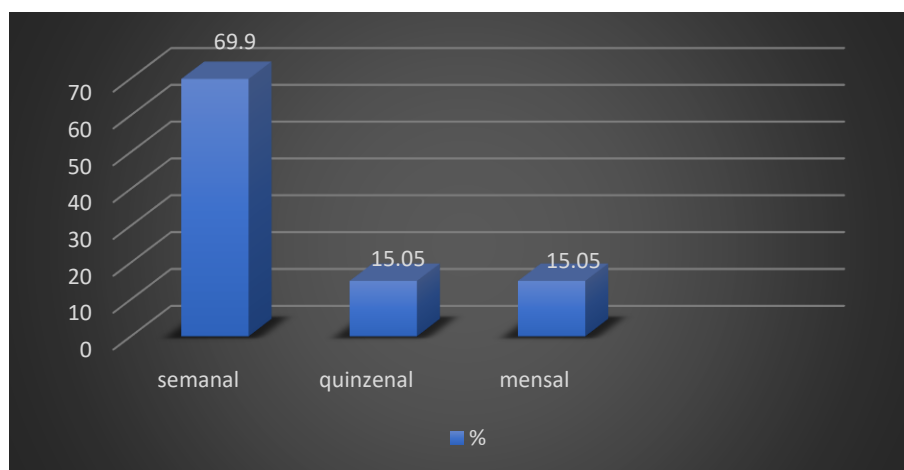
FIGURA 14: GRÁFICO DO TAMANHO DO RECIPIENTE DE ARMAZENAGEM DO OAU NO ESTABELECIMENTO



Fonte: Elaboração própria

- Quanto á periodicidade da recolha feita, 70% dos estabelecimentos preferem uma recolha semanal, 15% uma recolha quinzenal e os outros 15% mensais.

FIGURA 15: GRÁFICO DA PERIODICIDADE DE RECOLHA DO OAU



Fonte: Elaboração própria

As principais dificuldades a serem enfrentadas pela entidade de recolha e produção do biodiesel estão associadas à falta de sensibilização da população em relação aos óleos alimentares usados e também o governo que ainda não estão investindo em recursos renováveis.

Na tabela 9 vai ser realizado uma análise swot com o objetivo de identificar as principais forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para esse projeto.

TABELA 9: ANÁLISE SWOT DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DE ÓLEOS ALIMENTARES
USADOS RECOLHIDOS NA ILHA DE SÃO VICENTE

Forças	Fraquezas
<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade dos estabelecimentos (restaurantes, hotéis e bares), em oferecer a matéria-prima (OAU); • Esse projeto ira contribuir para melhorar o problema da dependência dos combustíveis fósseis; • Reaproveitamento de um resíduo que antes era descarte incorreto; • Impactes ambientais positivos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de sensibilização da população em relação ao reaproveitamento desses óleos e aos impactes negativos do seu descarte incorreto; • Recolha de pequenas quantidades de matéria prima; • Processo de produção pouco; • Falta de financiamento e investimento por parte do governo;
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> • Surgimento de soluções inovadoras no sector de transportes, potenciadoras de eficiência energética; • Valorização das fontes de energias no país; • Inexistência de projetos ou entidades de recolha dos óleos para produção de combustível em São Vicente; • Sustentabilidade energética para o país; 	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistência de legislação específica para regulamentação e certificação de biocombustíveis em Cabo Verde; • O incumprimento do acordo estabelecido entre a entidade recolhedora e os estabelecimentos; • Custo elevado do processo e materiais, sendo que quase todos os materiais são importados

Fonte: Elaboração própria

4.2 Análise dos resultados do dimensionamento do reator e do desenho técnico

Em relação ao dimensionamento do reator, os dados que foram considerados para a construção do reator são: volume do reator, diâmetro do tanque e do misturador, altura e largura do tanque, potência do motor do misturador, entre outros fatores, através destas variáveis é possível dimensionar um reator químico.

TABELA 10: RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DO REATOR

Parâmetros	Valor
Volume do OAU	20L
Volume do metanol	3,1L
Massa do catalisador (soda caustica)	80g
Volume do reator	34,7L
Comprimento do reator	60cm
Diâmetro do reator	0,272m
Diâmetro do agitador	0,090m
Altura das pás	0,018m
Comprimento das pás	0,0225m
Potência do motor	683w

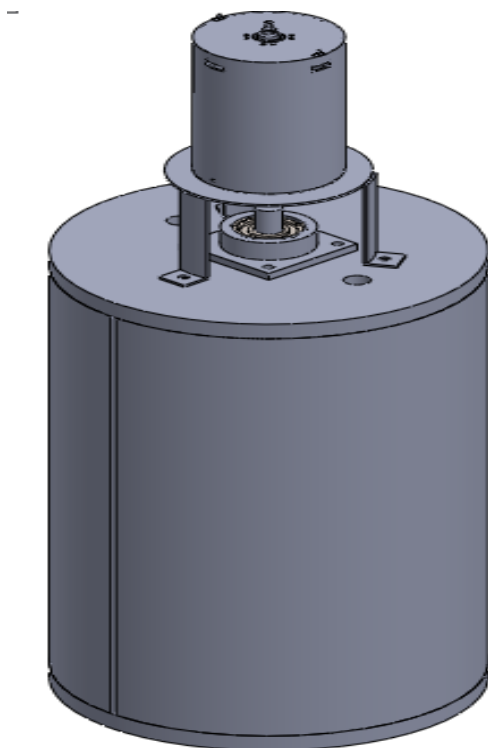
Fonte: Elaboração própria

Desenho técnico

Para fazer o desenho do reator foi utilizado o software solid word com as determinadas dimensões explícitas acima, mas algumas sofreram alterações para que pudesse obter melhores resultados.

Dentro desse desenho encontra-se o misturador de hélice para realizar a agitação dos materiais, o motor e os demais componentes como podemos ver nas figuras no (anexo c).

FIGURA 16: DESENHO TÉCNICO DO REATOR



Fonte: Elaboração própria

4.3 Análise da viabilidade económica do projeto

A partir dos resultados obtidos nos questionários, a seguir será apresentada a viabilidade económica do projeto proposto, foram utilizados os métodos tradicionais de avaliação económica da viabilidade de um empreendimento o qual requerem a estimativa dos custos capitais fixos, dos custos operacionais e do preço de venda dos produtos, o que neste caso se dá pela economia de combustível diesel.

Segundo Dib (2010), 20L de OAU's reagido com 3,1L de metanol e 80g de NaOH, pode produzir 18L de biodiesel e 3L de glicerina.

Então por dia o reator pode produzir 36L de biodiesel, sabendo que ele trabalha 2 vez por dia. Logo a produção por ano vai ser de 10 800L de biodiesel.

Vai ser assumido como preço de 1L de Biodiesel de 45\$ ECV, então a:

$$\text{Economia anual de produção de biodiesel} = 10\,800 \times 45 = 486\,000\$ \text{ ECV}$$

EQUAÇÃO 1

Considerando, 6 HSP no Mindelo, a energia anualmente produzida pelo sistema fotovoltaico é de 2452,8kwh. Sendo que 1kwh equivale a 32ECV, a poupança relativamente a compra de energia elétrica a concessionária de energia é de 78 489,6\$ ECV.

Sendo assim:

$$\text{Amortização do investimento} = \frac{\text{custe anual}}{\text{economia anual de produção}} = \frac{381\,659}{486\,000 + 78\,489.6} = 0,7 \text{ anos}$$

EQUAÇÃO 2

Logo o projeto pode ser considerado viável, sabendo que o retorno do investimento inicial pode ser recuperado em 7 meses de funcionamento do reator.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cada dia que passa a procura por energia sustentável cresce, e o uso de combustíveis sustentáveis é uma alternativa viável para tentar diminuir impactes ambientais gerados na utilização de combustíveis fósseis, e também a diminuição das importações de diesel.

O aproveitamento dos OAU's como matéria prima resolverá também o problema do descarte inadequado desse resíduo que também causa vários problemas ambientais.

A construção de reatores adaptados pode vir ajudar ainda mais a redução desses impactes ambientais, não somente porque promove pesquisas na área e o avanço de novas tecnologias, mas ainda por motivos de facilidade nos projetos de dimensionamento e de obtenção de matéria prima para a síntese, os reatores adaptados podem vir a ser usado em comunidades para ganho de autonomia e social promovido por tais projetos.

O preço do biodiesel que será produzido neste estudo vai ser muito mais baixo do que o combustível fóssil, o que é uma grande vantagem.

Em relação a viabilidade económica, como já tinha referido, o projeto é considerado viável, visto que o capital de investimento inicial pode ser recuperado em 7 meses de funcionamento do reator.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbaszaadeh, A.; Ghobadian, B.; Omidkhah, M.R; Najafi, G., (2012). Current biodiesel production technologies, *A comparative review. Energy Conversion and Management*, v. 63, p. 138-148.

Abreu, L. R. et al (2001). Efeito da Suplementação de Lipídios na Ração sobre a Produção de Ácido Linoléico Conjugado (CLA) e a Composição da Gordura do Leite de Vacas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, nº6. p. 1931-1938.

Ajala, E. O. *et al* (2018). Design, construction and performance evaluation of a mini-scale batch reactor for biodiesel production: A case study of shea butter. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 40 (5), p. 1066-1075.

Anderson Mace (2011). Supostos Ovnis Brincando sobre a Ilha de São Vicente, Cabo Verde. Disponível em <<https://projetoquartzoazul.blogspot.com>> [consultado em 20 de novembro de 2019].

Bagby, M. O.; Freedman, B.; Schwab, A. J., (1987) *Am. Soc. Agric. Engrs.*, Vol.87, pag.1583.

Biocombustíveis. Disponível em <www.revistasustentabilidade.com.br> [consultado em 21 de novembro de 2019].

Borowitzka, M. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology*, vol. 40, pag. 313-318.

Brown, T. L., LEMAY, H. E. JR., BURSEN, B. E (1989). Química - A Ciência Central. 9ª Ed. São Paulo: Pearson.

Cheng, J. J. e Timilsina, G. R. (2010). Advanced Biofuel Technologies - Status and Barriers” The World Bank - Development Research Group, USA, North Carolina, 47pp.

Chisti, Y (2007). *Biotechnol. Adv.* vol. 25, Pag. 294.

Constanino, P. et al, (2004). Fundamentos de Química Experimental. *Editora da Universidade de São Paulo Acadêmica*, vol. 53, São Paulo.

Costa, B. J. e Oliveira, S. M. M. (2006). Dossiê técnico: óleo de soja. Curitiba: [S.n.]. 27 p. Disponível em: <www.sbrt.ibict.br> [consultado em 08 jul. 2008].

Costa, R. A. B. (2009). Estudo das eficiencias de operação e consume de energia em plantas de produção de biodiesel. Dissertacao de mestrado. Escola politecnica da Univercidade de São Paulo.

Dermibas, A. (2008). A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines. Professor of Energy Tecnology, Sila Science and Energy, Trabzon.

Dib, F. H. (2010). Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um motorizador. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo.

Direção Geral de Energia, (2015). Agenda de acção para a energia sustentável para todos, Cabo verde.

Energia da fazenda. Reactores de producao de biodiel (2019). Disponivel em <<https://farm-energy.extension.org/reactors-for-biodiesel-production/>> [consultado em 7 de novembro de 2019].

Franco, A; Lôbo, I; Cruz, R. (2013). Biodiesel de Microalgas: Avanços e Desafios. *Revista Química Nova*. volume 36, número 3, pág. 437-448, Brasília.

Fernandes, R. K. M. et al, (2008). Biodiesel a partir de óleo residual de fritura: alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental. Rio de Janeiro.

Fernandez, F. et al, (1998). Modeling of biomass productivity in tubular photobioractors of microalgal cultures: Effects of dilution rate, tube diameter and solar irradiance. *Biotechnology Bioenergy*, vol. 58, pag. 605-616.

Ferrari, R. A. (2005)., Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*. São Paulo, vol. 28, nº 1. Pag.19-23.

Figueiredo, B; Garcia, L. (2016). Microalgas: Alternativas Promissoras para a Indústria. *Agroenergia em Revista*, vol. 10.

Gesti, G. F. (2006). Estudo de catalisadores para obtenção de biodiesel por transesterificação e determinação do rendimento por espectroscopia raman. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Química da universidade de Brasília. Brasília.

Guo, M. et al, (2015). Bioenergy and biofuels: History, status and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 42, pag 712-725.

Guerreiro, F. P. M. (2003). Produção de Biodiesel a Partir de Óleos Usados de Fritura.

Kanitkar, A. et al, (2011). Critical comparison of methyl and ethyl esters production from soybean and rice bran oil in the presence of microwaves. *Bioresource Technology*, vol. 102, p. 7896-7902.

Karaosmanoglu, F. (2007). Vegetable Oil Fuels: A Review. *Energy Sources*, v. 21, nº 3. p. 221-231.

Knothe, G. et al, (2006). Manual do Biodiesel. São Paulo: Blücher, 2006. 352 p.

Krzysztof, J. (2016). Efficiency of Biomass Energy: An Exericy Approach to Biofuels, Power and Biorefinneries.

Leevijit, T. et al, (2006). Projetar e teste de um reator contínuo para a transesterificação do óleo de palma. Songklanakarin contínuo para a transesterificação do óleo de palma. *Songklanakarin Journal of Science Technology*, 28, 791-802.

Lofrano, R. C. Z (2008). Uma revisão sobre biodiesel. *Revista Científica do UNIFAE*, São João da Boa Vista, vol. 2, nº 2.

Lopes, N. J. M (2011). Centro de Artes e Espectáculo do Mindelo (Cabo Verde – São Vicente). Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura. Universidade da Beira Interior. Covilhã.

Maciel, A. W. T. e Medeiros, L. J. (2016). Construção de mini reator químico: Um estudo sobre dimensionamento de protótipo de reator químico para síntese de biodiesel. Centro Universitário do Norte – UNINORTE, Manaus – am.

McCabe, W. L., e Smith, J. C. (2001). Unit operations of chemical engineering (5th ed.) . New York, NY: McGraw-Hill.

Morrison, R. e Boyd, R. (2005). Química Orgânica. 14a Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, Cap. 20.

Motasemi, F. e Ani, F. N. (2012). A review on microwave-assisted production of biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, p. 4719-4733.

Oliveira, F., Suarez, P. e Santos, W. (2008). Biodiesel: Possibilidades e Desafios. *Revista Química Nova*, n°28.

Parente, E. J. S. (2003) Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: [S.n.]. p. 66.

Rahmat, B.; Setiasih, I. S.; Kastaman, R. (2013). Biodiesel Projeto Reator com glicerol Separação para aumentar Biodiesel Rendimento de produção.

Ramos, L. P. Silva, F. R. Mangrich, A. S.; Cordeiro, C. S. (2011). Tecnologias de Produção de Biodiesel. *Rev. Virtual Quim.*, Vol 3, n° 5, pag 385-405.

Rao, K; Ramakrishna, A. (2015). Cost Estimation Analysis of Biodiesel Production from Waste Chicken Fat. *Internacional Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, n° 4, pag. 8863-8870, Sathupally.

Riqueza solar, (2015). Disponível em <http://riquezasolar.blogspot.com/>, [consultado 6 de novembro de 2019].

Rúpolo, M. P. e Levendosk, M. C. (2015). Projeto de planta piloto para produção e purificação de biodiesel. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Alfenas. Campus Poços de Caldas/MG.

Sani, W; Hasnan, K. e Yusof, M. (2012). Process Analysis for Esterification and TwoStep Transesterification in the Biodiesel Production Plant. *Internacional Journal of Mechanical e Mechatronics Engineering*, vol. 12, n°6, pag.

Salvi, B. L. e Panwar, N.L. (2012). Biodiesel resources and production technology. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, p. 3680-3689, 2012.

Sharma, Y.C. e Singh, B., (2009). Development of biodiesel: Current scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pag. 1646-1651.

Schwab, A. W. et al (1988)., *Am. Oil Chem. Soc.*, vol 11, pag. 1781.

Sheehan, J. e Dunahay, T. e Benemann, J. e Roessler, P. (2011) A Look Back at the U. S. Department of Energy's Aquatic Species Program - Biodiesel from Algae. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/biomass/pdfs/24190.pdf>> [consultado em 20 de novembro de 2019].

Simbolotti, G. (2012). Production of Liquid Biofuels. IEA-ETSAP.

Souza, C. A. (2006). Sistemas Catalíticos na Produção de Biodiesel por meio de Óleo Residual. Trabalho apresentado no Encontro de Energia e Meio Ambiente Rural.

The Regents of the University of California. (2011). Sustainable transportation energy pathways - A Research Summary for Decision Makers. Institute of Transportation Studies - University of California, USA, California, p. 25.

Udaeta, M. E. M. et al, (2004). Comparação da produção de energia com diesel e biodiesel analisando todos os custos envolvidos. *Revista Sei Eloproceedings*.

Vieira, J. N. de S (2008). O biodiesel e o desafio da inclusão social. Cadernos de Alto Fundo/ Biodiesel e Inclusão Social do Conselho de Altos Estudos. Brasília nº 17. Disponível em <<http://apache.camara.gov.br/>> [consultado em 22 de junho de 2019].

Volhard, K. P. C. e Schore, N. E. (2004). Química Orgânica: Estrutura e Função. 4ª Ed. Porto Alegre: Bookman.

Zang, Y.; Dubé, M. A.; McLean, D. D.; Kates, M (2003). *Bioresour. Technol.* Vol 89, nº1.

VII. ANEXOS

Anexo A

FIGURA 17: FATURA DO CUSTO DO KIT FOTOVOLTAICO

Rua Angola 29
Mindelo - Sao Vicente
C.P. 1404
Telef. 238 2314646/9711919 Fax.

email: automatic.life.cv@gmail.com

Dados Bancarios:

BCA: 8301415310001 NIB: 000300008301415310176

BI : 618074410001 NIB: 0005000000618074410197

Exmo.(s) Sr.(s)

Alene Santos

e: skudila796@gmail.com

Fatura Pró-Forma N.º 404/2019

Original

V/N.º Contrib.	Requisição	Moeda	Câmbio	Data	Desc. Cli.	Desc. Fin.	Vencimento	Condição Pagamento		
		CVE	1,00	2019-12-12	0,00	0,00	2019-12-12	Pronto Pagamento		
Artigo	Descrição				Qtd.	Un.	Pr. Unitário	Desc.	IVA	Valor
ARTMAN	KIT AUTOCONSUMO MONOFASICO				1,00	UN	141.700,00	0,00	15,00	141.700,00
	POTENCIA 1120W									
	n. 4 paineis Ulica Solar Poli 280W									
	n. 1 Inversor Solax X1 1.1									
	n. 1 estrutura para telhado plano para 4									
	painéis									
	kit ficha/cabo e acessórios necessaria									

Fonte: Elaboração própria

FIGURA 18: FATURA DO CUSTO DO KIT FOTOVOLTAICO

Processado pelo programa PRIMAVERA licenciado exclusivamente pelo contribuinte. / © PRIMAVERA BSS /

Quadro Resumo de Impostos				Mercadoria/Serviços		141.700,00
Taxa/Valor	Incid./Qtd.	Total	Motivo Isenção	Descontos Comerciais		0,00
IVA (15,00)	141.700,00	21.255,00		Desconto Financeiro		0,00
				Portes		0,00
				Outros Serviços		0,00
				Adiantamentos		0,00
				IEC/Outras Contribuições		0,00
				IVA		21.255,00
				Acerto		0,00
Carga				Total (CVE)		162.955,00
N/ Morada - 2019-12-12 / 16:56				Total (EUR)		1.477,85
Rua Angola 29						
Mindelo - Sao Vicente						
C.P. 1404						

Fonte: Elaboração própria

Anexo B

Para a realização do inquérito foram feitas as seguintes questões:

1. Qual o destino que dão aos OAU's?
 - a) Deita-os nos esgotos
 - b) Deita-os no chão
 - c) Enterra-os
 - d) Entrega-os a uma entidade competente
 - e) Queima-os
 - f) Dá outro destino

2. Sabia que os resíduos de óleo poderão ser reutilizados e usados como combustível?
 - a) Sim
 - b) Não

3. Reutilizam o óleo na preparação das refeições?
 - a) Sim
 - b) Não

4. Qual é o óleo geralmente utiliza na confeção das refeições?
 - a) Óleo animal
 - b) Óleo vegetal

5. Estariam dispostos para entregar os OAU?
 - a) Sim
 - b) Não

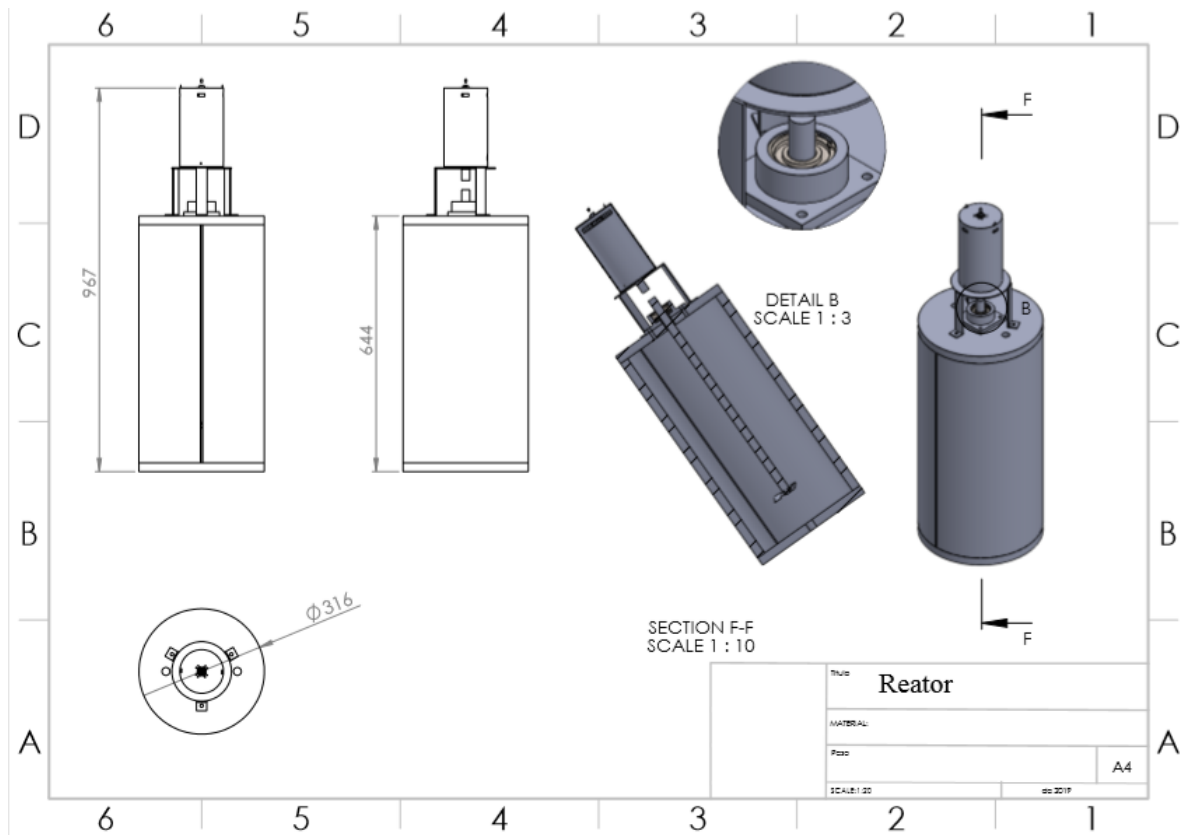
6. Quantidade de óleo utilizado mensalmente?
 - a) 0-50L
 - b) 50-100L
 - c) Não sabem responder

7. Qual seria ao ser ver, a melhor forma de armazenar o seu óleo até a vinda de um transporte de recolha?
 - a) Baiões de 50L
 - b) Baiões de 100L
 - c) Baiões de 150L

8. Qual a periodicidade que o seu ver deveria ser feita a recolha dos óleos?
 - a) Semanal
 - b) Quinzenal
 - c) Mensal

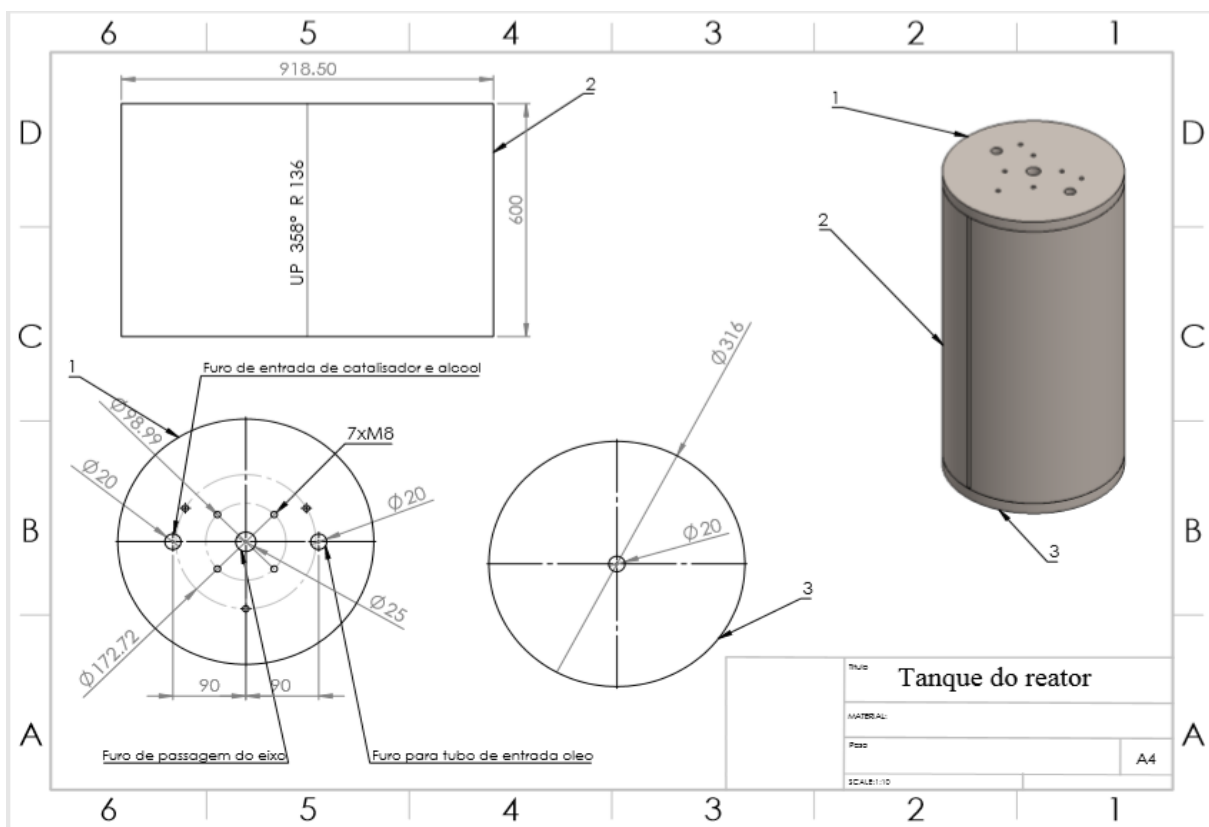
Anexo C

FIGURA 19: REATOR



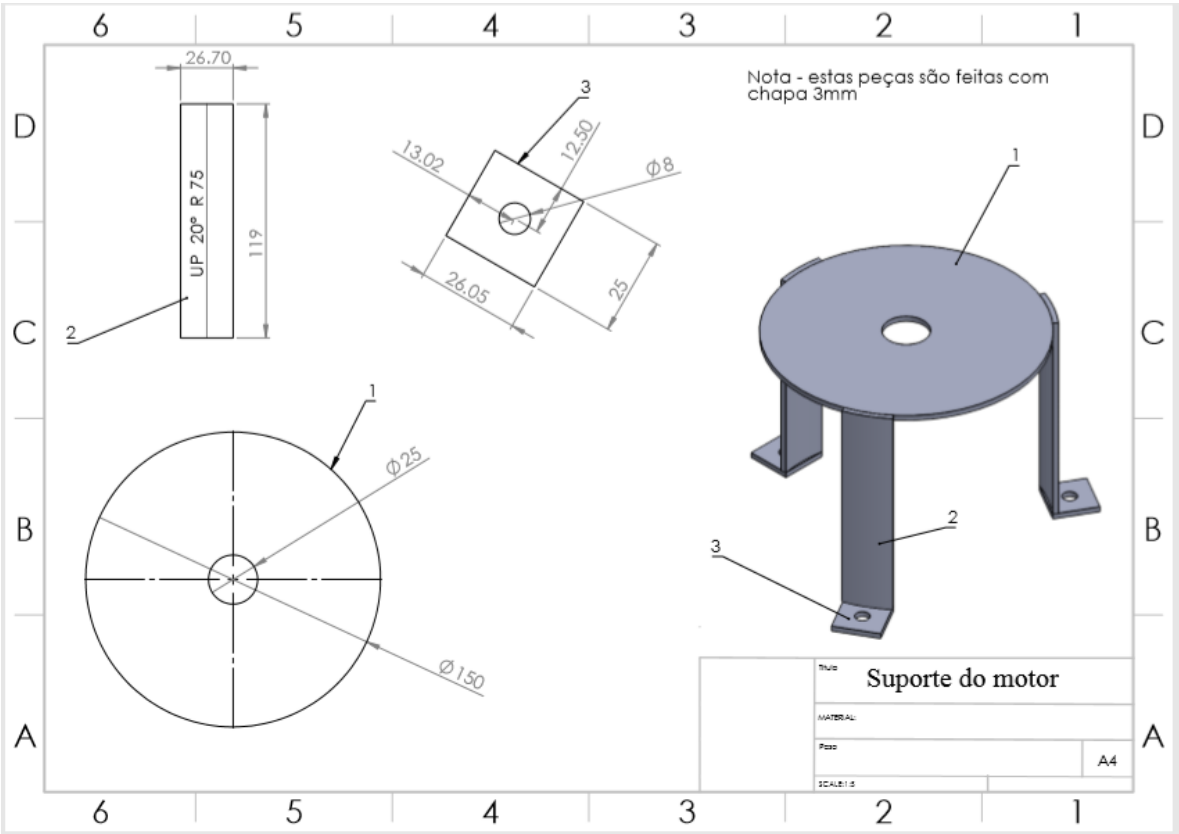
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 20: TANQUE DE REATOR



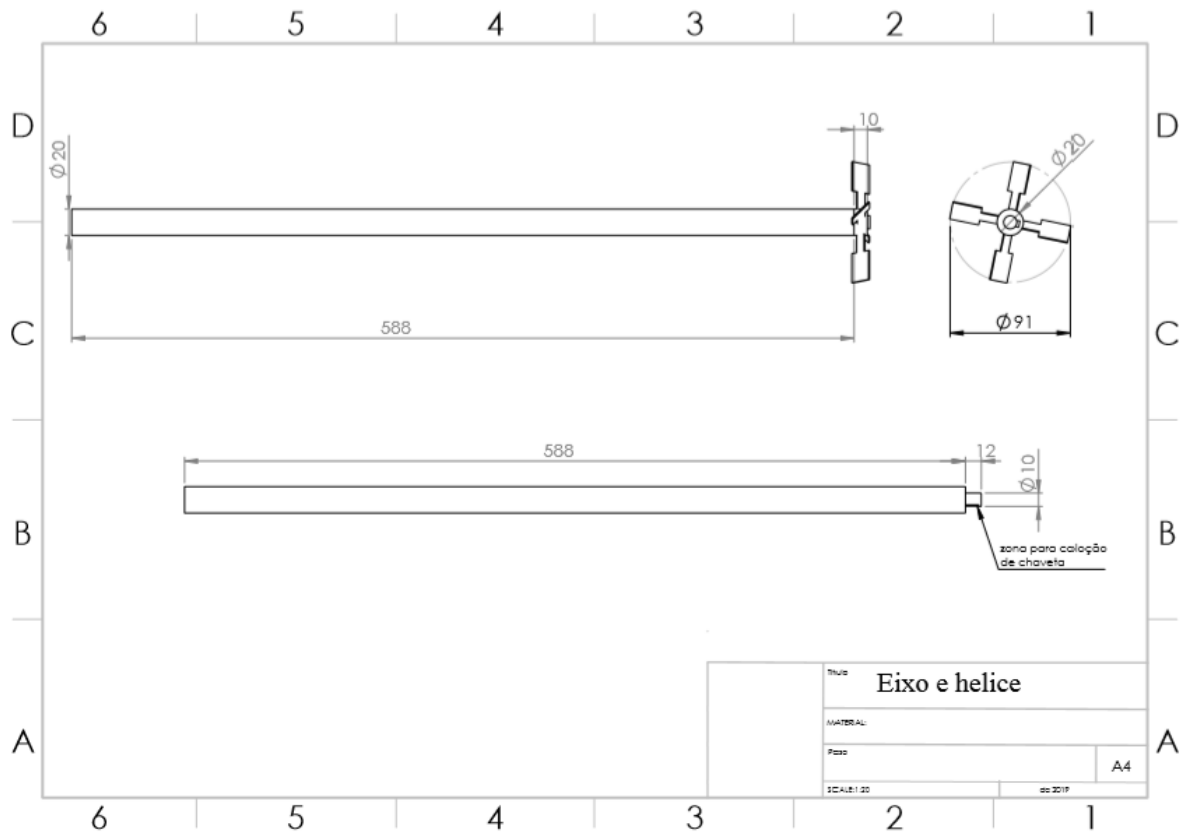
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 21: SUPORTE DO MOTOR



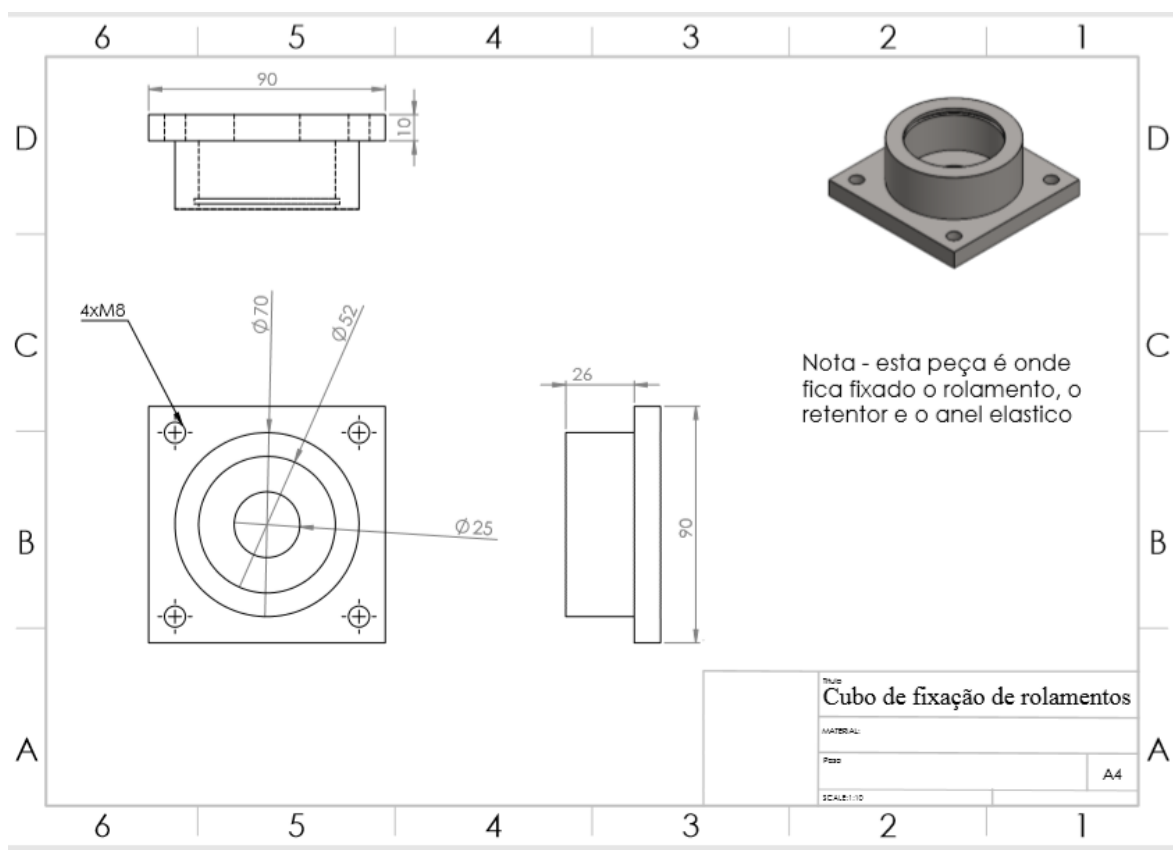
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 22: EIXO E HÉLICE



Fonte: Elaboração própria

FIGURA 23: CUBO DE ENROLAMENTO



Fonte: Elaboração própria